



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TEMASCALTEPEC

LICENCIATURA DE INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

**UTILIZACIÓN DE MODELOS DE SIMULACIÓN PARA LA GESTIÓN Y
MANEJO DE GANADO BOVINO DOBLE PROPÓSITO EN
CONDICIONES DE TRÓPICO SECO**

PRESENTA

EMMA GRISELDA MANZANARES LÓPEZ

DIRECTOR DE TESIS

DR. ANASTACIO GARCÍA MARTÍNEZ

COMITE DE TUTORES

Ph. D. ADOLFO ARMANDO RAYAS AMOR

DR. DARWIN HEREDIA NAVA

Temascaltepec, de González. México, Abril de 2018

AGRADECIMIENTOS

A Dios:

Por darme el regalo más preciado, la “vida, a pesar de tantas pruebas y momentos difíciles nunca me dejó. Sobre todo por darme ésta maravillosa oportunidad.

A mis padres:

Feliciano Manzanares González y Ambrosia López Gómez, por el inmenso cariño que siempre me han demostrado y otorgado, por enseñarme, a no rendirme y luchar por lo que quiero, sin importar los obstáculos.

Mami, tu que me enseñaste a ser fuerte en cada situación, a buscar solución a cada problema, y el significado del trabajo.

Papi, usted que a pesar de la distancia, me enseñó que cuando uno quiere hacer las cosas, no hay barreras imposibles para lograrlo y en cualquier circunstancia, hay que ser feliz.

A mi hijo Oliver:

Gracias por traerme alegría a mi vida, y ser mi mayor inspiración para terminar con esta nueva etapa de nuestra vida. Te amo por siempre.

A mis hermanos:

Heriberto, Salvador; a pesar de ciertas indiferencias, siempre me alentaron a seguir mejor persona cada día.

Laura y Elizabeth; Nunca me alcanzará la vida para agradecerles las mil veces que cuidaron a mi nene, para que yo lograré culminar esta etapa de mi vida, y las palabras de aliento cuando, yo no podía más.

A mi compañero de vida:

A pesar de muchas indiferencias y al final tú resignación me alentaron a seguir luchando por lo que siempre quise. Gracias por tu apoyo incondicional Abel, el cual me dejó cumplir unos de mis más grandes sueños.

A mis cuñadas:

Cuñis Gaby y cuñadita Elia, mil gracias por todo lo que hicieron por mí, al cuidar a su sobrino, para que yo pudiera culminar con éste sueño. No saben cómo las estimo, nunca me cansaré de agradecerles y por sus grandes consejos de sabiduría.

A mis amigos:

María de Jesús Reyes, aún recuerdo tus palabras “no te des por vencida”, gracias amiga mía, por todos esos consejos, que mi hicieron seguir creyendo en mí. Por siempre nuestra amistad.

Andrea Segundo, como y quien sabe, y a pesar de ser muy diferentes, siempre compartimos muchas locuras, aventuras y travesuras juntas. Nunca te olvidaré. Gracias por estar cuando te necesité.

Edgar MM; Más que un amigo, un hermano. Gracias por nunca dejarme caer y cuidarme, que, a pesar de tener diferentes gustos y costumbres, no fue impedimento para ser los mejores amigos en Temas.

Yeimi, guacha fea...tu palabra que siempre llevaré presente. No sabes cómo me acuerdo de tus palabras mágicas, que me hacían vivir un mundo surrealista. Te estimo y en mi hipotálamo por siempre.

Vicente, gracias por tus sabias palabras y tus pláticas en grupo, de donde sacabas tantas cosas quien sabe, pero siempre nos sacabas una sonrisa.

Ustedes que nunca me dejaron sola en los peores momentos, agradezco a Dios por haberlos mandado en mi vida.

A mi director tesis:

Dr. Anastacio García Martínez, nunca dejó de creer en mí y por darme la oportunidad de trabajar a su lado, dándome las herramientas necesarias para terminar con éste proceso. Sobre todo gracias por su amistad incondicional y los conocimientos aportados para la realización de éste proyecto. Más que un profesor un gran amigo.

Otros:

Agradezco a cada uno de los que de forma indirecta pusieron un granito de arena desde el inicio de éste sueño, y que día a día me ayudaron a cumplirlo. A mi abuelita Margarita, que siempre confió en mí y me dijo “tú vas a hacer una ingeniero”; sueño hecho realidad.

A cada uno de los profesores que con sus conocimientos me ayudaron a comprender mejor las cosas.

REVISORES DE TESIS

PH. D. BENITO ALBARRÁN PORTILLO

Profesor de Tiempo Completo definitivo en el Centro Universitario UAEM Temascaltepec. Especialista en producción animal, estrategias de alimentación para ganado lechero y ganado doble propósito en sistemas silvopastoriles de trópico seco. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores Nivel I.

Dr. en CARN. JOSE FERNÁNDO VÁZQUEZ ARMIJO

Profesor de Tiempo Completo definitivo en el Centro Universitario UAEM Temascaltepec. Especialista en reproducción de pequeños rumiantes en zonas de trópico seco; inseminación artificial y transferencia de embriones. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores Nivel I.

RESUMEN

La ganadería es una de las principales actividades en zonas rurales, dada su importancia económica por la venta de leche y carne. Ante los cambios de manejo del ganado, de los mercados, uso de nuevas tecnologías o variaciones climáticas que afectan a la ganadería, los modelos de simulación constituyen herramientas complementarias para el manejo de las UP y como apoyo en la toma de decisiones óptimas para su desarrollo. El objetivo del trabajo fue desarrollar modelos de simulación y escenarios de optimización de recursos disponibles en las unidades de producción (UP), como herramientas de apoyo en la toma de decisiones de los ganaderos. La información se recopiló mediante seguimientos técnico económicos a 67 UP en comediones de trópico seco en el sur del estado de México. El análisis de la información se hizo mediante programación lineal.

Se concluyó que los modelos de simulación tienen la capacidad de identificar diversas estrategias de producción y optimizar el uso de los recursos disponibles, así como la orientación de la producción de las UP (carne, leche, mixto), en función de las características estructurales y de manejo de los recursos disponibles. La producción y venta de leche y sus derivados es la actividad que mayor ingreso aporta en las UP y se perfila como la actividad de mayor desarrollo. Asimismo, los modelos de simulación son herramientas útiles como apoyo en la toma de decisiones óptimas del ganadero.

Palabras clave: simulación, optimización, ganado, desarrollo, altiplano central.

CONTENIDO

AGRADECMIENTOS	iii
REVISORES DE TESIS	vii
CONTENIDO	ix
INDICE DE CUADROS	xiv
INDICE DE FIGURAS	xvi
I. INTRODUCCIÓN	18
II. REVISION DE LITERATURA	20
2.1. La actividad ganadera en México.....	20
2.2. Producción de leche y carne	21
2.3. La ganadería doble propósito	25
2.3.1. <i>Importancia del ganado doble propósito en México</i>	26
2.3.2. <i>Principales características de los sistemas de producción doble propósito</i>	27
2.3.3. <i>La alimentación del ganado DP en condiciones del trópico</i>	29
2. 4. Utilización de modelos de simulación y su importancia en agricultura y ganadería.....	31
2.4.1. <i>Modelos de simulación</i>	32
2.4.2. <i>Tipos de modelos</i>	33
2.4.2.1. Básico.....	33
2.4.2.2. Aplicado.....	33
2.4.2.3. Estáticos	33
2.4.2.4. Dinámicos.....	33
2.4.2.5. Mecanicista.....	33

2.4.2.6. Determinista	33
2.5. Oportunidades y desafíos para los sistemas de producción de doble propósito en el trópico de México	34
III. JUSTIFICACIÓN	38
IV. HIPOTESIS.....	40
V. OBJETIVOS	42
5.1. General	42
5.2. Específicos.....	42
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	44
6.1. Localización del área de estudio.....	44
6.2. Recolección de Información.....	45
6.3. Parametrización de modelos de simulación.....	46
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
7.1. Caracterización de las unidades de producción (UP) doble propósito (DP)	48
7.2. Modelización de unidades de producción	50
7.2.1. <i>Comparación de grupos originales y modelos de simulación</i>	50
7.2.3. <i>Variables de decisión</i>	56
7.2.4. <i>Principales ingresos de las unidades de producción</i>	58
7.2.5. <i>Principales costos en las UP</i>	61
7.2.6. <i>Producción de forraje en la UP</i>	62
7.2.7. <i>Requerimientos nutricionales del ganado</i>	64
7.2.8. <i>Disponibilidad de mano de obra</i>	65
7.2.9. <i>Parámetros DUAL o sombra</i>	67
VIII. CONCLUSIONES	70
IX. RECOMENDACIONES.....	72

X. AGRADECIMIENTOS ACADÉMICOS	74
XI. BIBLIOGRAFÍA	76

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Entidades federativas más importantes en producción de leche.....	22
Cuadro 2. Principales entidades y su aportación en la producción nacional de carne de bovino (toneladas).....	24
Cuadro 3. Principales indicadores de la producción de ganado bovino doble propósito.....	29
Cuadro 4. Características estructurales de las PU DP en la zona de estudio.....	48
Cuadro 5. Comparación datos originales y modelos.....	52
Cuadro 5. Comparación datos originales y modelos. Continuación.....	53
Cuadro 6. Optimización de la relación costo - beneficio (\$).....	54
Cuadro 7. Variables de decisión.....	57
Cuadro 8. Principales ingresos en las UP DP.....	58
Cuadro 9. Costos totales de las unidades de producción.....	62
Cuadro 10. Producción de forraje por épocas del año (Toneladas de MS).....	63
Cuadro 11. Necesidades alimenticias por época del año.....	64
Cuadro 12. Necesidades de mano de obra durante las estaciones del año.....	66
Cuadro 13. Parámetros DUAL de los modelos.....	68

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del Municipio de Tlatlaya, Estado de México.....	44
Figura 2. Proporción y tenencia de la tierra en las unidades de producción.	49
Figura 3. Proporción de la mano de obra disponible en las UP doble propósito. ...	49
Figura 4. Distribución y uso de la superficie agrícola útil.....	50
Figura 5. Diferencias de la optimización del ingreso, costos de producción y MB en las UP DP.....	55
Figura 6. Proporción de los principales ingresos en las UP	59
Figura 7. Porcentajes de ingreso de carne y leche y sus derivados.....	59
Figura 8. Diferencia de la optimización de los ingresos de las UP.....	60

I. INTRODUCCIÓN

Los modelos de simulación constituyen herramientas que permiten la integración de distinta información y diversos procesos, permitiendo el estudio de sus interacciones y la evolución del impacto de modificaciones en el sistema de producción general. Si bien, surgen de la aplicación industrial, su utilización en procesos biológicos y agropecuarios en particular, son de crecimiento exponencial, incluso atendiendo necesidades ambientales como es el caso de la cuantificación de emisión de gases de efecto invernadero por sistemas de producción pecuaria. Por lo expuesto, a nivel internacional los modelos de simulación son herramientas complementarias indispensables en proyectos de investigación de sistemas agropecuarios (García-Martínez *et al.*, 2011).

La complejidad dinámico-sistémica de los fenómenos agropecuarios merece lineamientos metodológicos para facilitar la construcción de ambientes informáticos asumidos como “instrumentos de mediación que posibilitan las interacciones entre los sujetos y median la relación de éstos con el conocimiento, con el mundo, con los hombres y consigo mismo”. La Dinámica de Sistemas (DS) es una alternativa rigurosa y flexible para dar cuenta de la dinámica de los sistemas de producción agropecuaria en términos de modelos matemáticos de simulación y la generación de escenarios como elementos de juicio para posibles cambios en función de las variables de decisión (Gómez *et al.*, 2015)

Entre las metodologías y herramientas actualmente en uso destacan el análisis de sistemas y los modelos de simulación, que permiten, apoyándose en los avances de la informática, estudiar y predecir con gran precisión el comportamiento de los sistemas productivos frente a cambios en alternativas de manejo, uso de nuevas tecnologías, cambios e incertidumbre en los mercados, variaciones climáticas y otros, pero sobre todo en los procesos de toma de decisiones.

Un modelo de simulación desarrollado con el objetivo de estudiar y resolver los problemas expuestos se transforma en una poderosa herramienta para enfrentar el medio cambiante, sirviendo tanto a los profesionales del área como a los que se preparan en ella (Aguilar *et al.*, 2002).

En función de lo anterior, para el uso de modelos de simulación en el estudio de sistemas productivos, se deben de incorporar una serie de aspectos sociológicos o estructurales, que pueden estar directa o indirectamente relacionados con el proceso productivo, permitiendo así conocer las determinantes en el futuro de la actividad (Ruiz y Oregui, 2001).

Los sistemas agropecuarios están organizados en una estructura jerárquica, cuyos procesos de producción se relacionan tanto horizontal (sub-sistema del mismo nivel jerárquico, interconectados entre sí para conformar un sistema mayor) como verticalmente (niveles jerárquicos diferentes). Desde esta perspectiva, el estudio de sistemas agropecuarios con enfoque integral u holístico en diferentes escalas de análisis (cultivo o especie de animales, sistema de producción, unidad de producción, comunidad o región) incluye la investigación disciplinaria (en laboratorio, invernadero, vivero, postas zootécnicas, campos experimentales, etcétera), lo que brinda la oportunidad de conocer la influencia conjunta de los componentes del sistema sobre su comportamiento integral (Nahed *et al.*, 2014). En este tenor el objetivo del trabajo será desarrollar escenarios de optimización de recursos disponibles y generar herramientas de apoyo en la toma de decisiones para el desarrollo de UPDP en condiciones de trópico seco.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. La actividad ganadera en México

La ganadería en México se desarrolla bajo diferentes contextos agroecológicos, tecnológicos, de sistemas de manejo y objetivos de producción; en lo general, los sistemas productivos se clasifican como tecnificados, semitecnificados y tradicional o de traspatio.

La ganadería para carne comprende principalmente la producción de novillos para abasto, la cría de becerros para la exportación y la producción para pie de cría, siendo los sistemas básicos de explotación, el intensivo o engorda en corral y el extensivo o engorda en praderas y agostaderos en las diferentes regiones del país. El 33% de la producción de carne en el ámbito nacional, se localiza en las regiones áridas y semiáridas, en las que predominan las razas europeas puras como la Hereford, Angus y Charolais, y se caracteriza por tener tanto el sistema de producción vaca-becerro, como la engorda en corral, cuyo mercado tradicional ha sido la exportación hacia los Estados Unidos de América.

La región templada aporta el 31.6%; en esta región predomina el ganado cruzado con razas europeas donde gran parte de las explotaciones son extensivas, sustentadas en el pastoreo durante la época de lluvias, complementándose el resto del año con dietas a base de esquilmos agrícolas y suplementos. El sistema que predomina es el de vaca-becerro, donde la cría se engorda para consumo local o se finaliza en corrales de engorda. Las regiones del trópico húmedo y seco, son las que tienen mayor aporte en la producción con el 35.4%; en estas regiones, predominan las razas cebuínas y sus cruza con razas europeas (García-Martínez *et al.*, 2015). Se ha consolidado como la zona ganadera más dinámica y de mayor expansión, fundamentalmente la del sureste del país, la cual ha evolucionado en forma importante, ya que en ella se ubica la mayor parte del inventario nacional.

En cuanto a la productividad, se ha convertido en la zona natural proveedora de becerros para engorda y finalización en corrales nacionales y de carne en canal para el abasto.

2.2. Producción de leche y carne

La ganadería es una actividad agropecuaria importante; ocupa más del 50% del territorio nacional y mantiene cerca de 32 millones de cabezas de ganado bovino. Durante el año 2003 la producción de leche ascendió a 10,000 millones de litros y la de carne a 1,500 millones de toneladas; a partir de 1994 a 2003 la tasa media de crecimiento anual para la leche ha sido del 2.9% y para carne del 2.7% (SAGARPA, 2004 a; 2004 b). El volumen de leche obtenido durante el último trimestre de 2016 fue de 907,492 miles de litros (kilolitros) equivalentes a 934,263 toneladas de leche; 1.35% que el mismo trimestre de 2015 (LACTODATA, 2016). La participación de las principales entidades federativas en la producción de leche de bovino en 2015 y 2016, se muestra en el Cuadro 1.

Como consecuencia del crecimiento que se observó entre 1999 y 2003, en especial para la leche, las importaciones de leche fluida y en polvo se redujeron 25.3% y 20%, respectivamente (SAGARPA, 2004b). En 2015 México importó 221.5 mil toneladas, cerca del 40% de la producción de Estados Unidos. Esa cantidad representa el 86% de las importaciones mexicanas de LDP. Las exportaciones de 2015 observaron un crecimiento del 2.65%, luego de haber caído 1.77% en 2014, cuando la producción y los inventarios (al final del año) habían crecido, 9.46% y 76.89 respectivamente. Aún con ese cambio México sigue siendo el primer importador de productos lácteos (LACTODATA, 2016).

Cuadro 1. Entidades federativas más importantes en producción de leche

Entidad	Participación en	Avance al mes de: marzo 2015, 2016.		
	la producción (%)	Volumen de producción, miles de litros		
	2013-2015	2015	2016	Variación (%)
Jalisco	497,505.0	503,201.0	497,505.0	503,201.0
Coahuila	330,415.0	345,290.0	330,415.0	345,290.0
Durango	274,310.0	271,752.0	274,310.0	271,752.0
Chihuahua	241,999.0	249,767.0	241,999.0	249,767.0
Guanajuato	187,161.0	192,502.0	187,161.0	192,502.0
Veracruz	163,757.0	161,533.0	163,757.0	161,533.0
México	92,782.0	91,874.0	92,782.0	91,874.0
Puebla	108,136.0	110,411.0	108,136.0	110,411.0
Hidalgo	92,621.0	94,330.0	92,621.0	94,330.0
Chiapas	87,806.0	88,992.0	87,806.0	88,992.0
Aguascalientes	94,534.0	96,564.0	94,534.0	96,564.0
Querétaro	86,638.0	86,499.0	86,638.0	86,499.0
Región Lagunera	581,748.0	592,704.0	581,748.0	592,704.0
Total entidades	2,258,664.0	2,292,715.0	2,258,664.0	2,292,715.0
Avance Nacional	2,655,222.0	2,704,036.0	2,655,222.0	2,704,036.0
Total anual	11,394,663.0	11,586,304.0	11,394,663.0	11,586,304.0

Fuente: LACTODATA, 2016. Con información de SIAP-SAGARPA, 2016.

La eficiencia de los sistemas de producción de bovino es baja, ya que, si bien el volumen de leche producido del ganado bovino se ha incrementado, esto ha sido debido al aumento de la población de vacas lecheras más que a incrementos en su productividad (SAGARPA, 2004a).

La ganadería lechera de México está distribuida en diferentes regiones agroecológicas y cuencas lecheras que difieren en tecnificación (intensificación, niveles y costos de producción) y estas dependen de la utilización de razas lecheras especializadas (Holstein, Suizo Pardo y Jersey) o vacas cruzadas (*Bos taurus* x *Bos indicus*). Estas últimas están ubicadas en los sistemas de doble propósito establecidos en el trópico mexicano (CONARGEN, 2000).

El nivel de intensificación (mayor producción por unidad de superficie) es más alta en los sistemas especializados, seguidos por el semi especializado y familiar; y el de doble propósito es primordialmente extensivo (García-Martínez *et al.*, 2015).

En términos de número de productores y procesadores, la industria de la carne en México es la tercera más importante después de la industria de lácteos. Dentro de la ganadería, la producción de carne de bovino es la actividad productiva más diseminada en el medio rural, pues se realiza, sin excepción, en todas las zonas del país y aun en condiciones ambientales adversas que no permiten la práctica de otras actividades productivas (SIAP-SAGARPA, 2016).

La producción de carne de bovino se ha mantenido como el eje en torno al cual se establecen diferentes tendencias de producción y el propio mercado de las carnes en México. La cría de bovinos para carne constituye una de las actividades fundamentales del subsector pecuario nacional, por la contribución que realiza a la oferta de productos cárnicos, así como por su participación en la balanza comercial del país, donde las exportaciones de ganado en pie, es la principal fuente de ingresos. No obstante la producción nacional de carne de bovino, es insuficiente para satisfacer la demanda de una población que crece a un mayor ritmo que el de la producción, por lo tanto las importaciones se han incrementado del 3.5% al 22% de 1995 al 2002 (SAGARPA, 2004b).

En el Cuadro 2, se muestran las entidades federativas con mayor aporte en la producción nacional de carne, siendo mayores Veracruz e importante la región del Golfo de México, a partir de ganado doble propósito y aproximadamente cuatro millones de vacas, censo con el cual ocupa el sexto sitio a nivel nacional en producción leche (LACTODATA, 2016), Jalisco, Chihuahua y Sonora los que tienen un menor aporte a la producción nacional.

Cuadro 2. Principales entidades y su aportación en la producción nacional de carne de bovino (toneladas)

Estado	Producción 2015	Pronóstico 2016	Aportación (% nacional)	Variación (%)
Veracruz	251,098	252,088	13.5	-0.4
Jalisco	202,917	209,061	11.0	-2.9
Chiapas	114,963	115,206	6.2	-0.2
Sinaloa	93,892	92,421	5.0	1.6
San Luis Potosí	87,546	91,471	4.8	-4.3
Baja California	87,348	91,063	4.8	-4.1
Durango	93,316	81,494	4.7	14.5
Michoacán	74,939	78,930	4.1	-5.1
Chihuahua	78,782	74,686	4.1	5.5
Sonora	74,042	73,159	3.9	1.2
Total nacional	1,878,989	1,872,364	100.0	0.4

Fuente: SIAP-SAGARPA, 2016.

La actividad ganadera conserva una gran relevancia en el contexto socioeconómico del país, ya que en conjunto con el resto del sector primario, ha sido sustento para el desarrollo de la industria nacional. En este sentido, proporciona alimentos y materias primas, divisas, empleo, distribuye ingresos en el sector rural y utiliza recursos naturales que no tienen cualidades adecuadas para la agricultura u otra actividad productiva.

2.3. La ganadería doble propósito

Muchos ganaderos se han interesado en criar ganado especializado en la producción de carne o leche. Esta tendencia depende del tipo de ganado presente en la UP y la capacidad de estos para adaptarse a las diferentes condiciones agroclimáticas del territorio nacional. Algunos otros ganaderos se han interesado en el cruzamiento de diferentes tipos raciales (*Bos Taurus vs Bos Indicus*) con el objetivo de contar con ganado doble propósito. El objetivo de la ganadería doble propósito (DP) es la producción de leche y carne de manera simultánea, sin llegar a especializarse en ninguna en las dos funciones. Sin embargo, actualmente, al interior de los sistemas DP se han observado diferentes tendencias: ganado DP con mayor orientación a leche, carne o el DP tradicional (García-Martínez *et al.*, 2015). En este sentido, las razas utilizadas para el cruzamiento son variadas, en función de la orientación de la producción y la mayor capacidad de producción de carne o leche.

En función de lo anterior, los sistemas con ganado DP, tienen estructuras y estrategias de producción muy diversas que asociadas a la diversidad ambiental, conforman un fenómeno complejo dinámico, que les confieren características de sustentabilidad y competitividad en comparación a los sistemas especializados (Vences-Pérez, 2014). En México, más del 30% de la producción de leche proviene de los sistemas de doble propósito ubicado en las regiones tropicales.

2.3.1. Importancia del ganado doble propósito en México

El área tropical de México abarca 51'278,600 hectáreas, que corresponde al 26.2% del territorio nacional; de estas, 18,952,300 (37.0% se dedican a la producción pecuaria, donde pastorean aproximadamente 12 millones de bovinos (40.0% del inventario nacional), que producen el 28.0% y 39.0% de la leche y carne que se consume en México (INEGI, 2015; Aluja y Castillo, 1991).

La mayor parte de estos productos provienen de las 3' 900,000 vacas que se explotan bajo el sistema de “doble propósito” en esta área; a pesar de la importancia numérica y de los volúmenes de producción de los bovinos de doble propósito en el trópico mexicano, sus índices productivos son bajos. Uno de los problemas que limita la productividad de la ganadería de doble propósito en climas tropicales es el bajo potencial genético de sus animales. Esto se debe a los cruzamientos que en forma desordenada se han realizado entre razas cebuinas y europeas, dando como resultado genotipos indefinidos que tienen una gran variabilidad en producción de leche y carne (García-Martínez *et al.*, 2015).

La ganadería DP en el Estado de México está ampliamente difundida y se basa en el pastoreo de praderas nativas e introducidas. No obstante la producción de carne y leche por hectárea son bajos debido a la estacionalidad de la producción de forrajes (Albarrán-Portillo *et al.*, 2008)

Sin embargo, existen oportunidades para mejorar la producción de leche y carne en estos sistemas de producción, mediante la implementación de estrategias de alimentación a bajo costo (Nájera-Garduño, 2016; Arellano-Pérez, 2016) e incluso la complementación con alimentos proteínicos o energéticos que de igual forma permitan disminuir el costo de producción de la actividad (Salvador-Loreto *et al.*, 2016).

Bajo este enfoque, la ganadería DP constituye un medio de vida importante para la población rural directamente involucrada (García-Martínez *et al.*, 2015; Magaña *et al.*, 2006).

2.3.2. Principales características de los sistemas de producción doble propósito

Este sistema se puede conceptualizar como la crianza de ganado que produce tanto leche como carne para vender, donde parte de las vacas del hato se ordeñan parcialmente y el resto de la leche se deja para que la cría la consuma (Anderson y Wadsworth, 1995). El término como tal, no posee connotaciones específicas con relación al nivel del sistema, a las prácticas de manejo empleadas o al genotipo del animal utilizado (Martínez, 1995).

Las vacas se ordeñan a mano una vez al día, permitiendo que la cría apoye y después se le deja que mame un cuarto completo y/o leche residual, a veces el ordeño de los cuatro cuartos es incompleto. El destete de la cría no siempre coincide con el final de la lactancia, ello depende de la persistencia de la vaca y de algunos criterios del productor considerando el crecimiento del becerro, la época del año y la condición corporal de la vaca. El tipo de ganado utilizado son cruces de Cebú con las razas Pardo Suizo, Holstein, Jersey y Simmental, sin seguir un programa de cruzamiento específico. Los registros de producción, los programas sanitarios y reproductivos son raramente practicados y la asistencia técnica es escasa (Magaña *et al.*, 2006)

Con relación al tamaño de la UP, tanto en extensión como en número de animales, se aprecia una variación considerable. Aunque los hatos son de pequeños a medianos (30 a 100 vacas).

De acuerdo a su capitalización, nivel tecnológico y uso del suelo los SDP se pueden clasificar principalmente como extensivos y algunos como semi-intensivos (Magaña, 2000). Cualquiera que sea la clasificación, está claro que los SDP están asociados a bajos costos de producción y representan una alternativa viable para aprovechar los recursos naturales regionales y hacer frente a los desafíos que el medio socioeconómico en el que se desarrollan, les exige se señalaron previamente como resultado de la globalización económica, generar empleos y aprovechar la mano de obra familiar disponible (García-Martínez *et al.*, 2011).

Los valores de algunos indicadores de productividad de los SDP se presentan en el Cuadro 3. La fertilidad de las vacas entre 50 y 60% de nacimientos (Magaña y Delgado, 1998). Sin embargo, en la mayoría de los casos se relaciona con un nivel reproductivo bajo (39%), aunque también existen hatos con buena fertilidad, que puede alcanzar más de 81%. La edad de la vaquillas o novillas a primer parto, promedia los 36 meses de edad (Martínez, 1992), lo que sugiere bajo potencial de reemplazo. La información sobre la mortalidad de las crías fluctúa entre 9% y 20%.

Cuadro 3. Principales indicadores de la producción de ganado bovino doble propósito.

Indicadores	Valor más frecuente	Amplitud
<i>Producción de leche</i>		
Vaca/día, kg	4.0	2.8 - 6.5
Vaca/lactación, kg	1160.0	749 - 1589
Largo de lactación, d	290.0	244 - 311
<i>Fertilidad</i>		
Edad al primer parto (meses)	37.0	32 - 43
% de nacimientos	64.0	39 - 81
<i>Producción de carne</i>		
Peso al destete, kg	150.0	120 - 160
<i>Ganancia de peso: g/día</i>		
Becerras	370.0	290 - 490
Post-destete	220.0	no determinado
<i>Productividad por hectárea</i>		
Carga UA	1.4	0.72 - 1.90
kg leche/año	476.0	182 - 749
kg carne/año	116.0	45 - 192

2.3.3. La alimentación del ganado DP en condiciones del trópico

La base de su alimentación la constituyen los pastos tropicales nativos o inducidos, manejados bajo sistemas de pastoreo rotacional con carga animal entre 0.5 a 3.5

unidades animales por hectárea al año, con mínima suplementación durante la época seca, principalmente con subproductos agroindustriales baratos (Magaña *et al.*, 2006). El pastoreo extensivo, también es importante en estos sistemas de producción. Otras fuentes de alimentación para el ganado, están constituidas por el rastrojo de maíz y caña de azúcar (Vilaboa y Díaz, 2009).

El pastoreo extensivo, favorece una mayor producción unitaria. En este sentido, Aluja y Castillo (1991) observaron 40% más en producción de leche (800 L a 1,200 L por lactación) por vaca/año o por unidad de superficie, Este incremento contribuye en mayores ganancias para la UP y la disminución de los costos de producción (CONARGEN, 2000). Además, con estas estrategias de aprovechamiento de insumos de la propia UP, favorecen la conservación de los recursos disponibles, en un marco de competencia cada vez mayor por el uso del suelo y del agua (Tewolde *et al.*, 2002).

A pesar de lo anterior, la producción de forraje en las zonas tropicales es estacional, ya que se caracterizan por la presencia de una estación seca de seis meses y escasez de forraje y un periodo de lluvias también de seis meses, en el que las vacas tienen mayor probabilidades de quedar gestantes, por la mayor disponibilidad de forrajes y nutrientes (Magaña *et al.*, 2006). Algunos factores que pueden limitar el desarrollo de estos sistemas de producción son la geografía accidentada, factores biológicos, sociales, económicos y técnicos (Nicholson *et al.*, 1995).

Por lo anterior, estudios recientes han demostrado los beneficios de pastos mejorados o introducidos y otros forrajes cultivados, principalmente maíz y sorgo. Algunos ejemplos, es la utilización de forrajes como el pasto Mulato (*Brachiaria ruziziensis x Brachiaria brizantha*), que puede tolerar tasas de ocupación más elevadas que las especies nativas.

El uso combinado de leguminosas y gramíneas en sistemas de pastoreo, son otra opción para mejorar no sólo la calidad de la dieta, sino también para mejorar los nutrientes del suelo. Simultáneamente se mejoran los parámetros productivos y reproductivos del ganado y la rentabilidad de la actividad.

Tradicionalmente los agricultores en zonas tropicales, utilizan concentrados comerciales durante el periodo de secas, para contrarrestar la baja producción de forrajes y la calidad nutricional de la dieta para el ganado (Albarrán-Portillo *et al.*, 2015). Sin embargo, aunque se logra mantener la producción, los costos se incrementan considerablemente (García-Martínez *et al.*, 2015).

2. 4. Utilización de modelos de simulación y su importancia en agricultura y ganadería

Recientemente se ha reconocido el papel de los modelos de simulación y optimización en el proceso científico, especialmente cuando estas herramientas proporcionan resultados, orientaciones y rangos posibles para la planificación de estrategias o alternativas de desarrollo (Gómez *et al.*, 2015). La intención de los modelos de simulación y optimización en estudios agropecuarios es encontrar las bases para la predicción y evaluación biológica, de producción y económica cuando mucha información observacional no se encuentra disponible o que sería muy costoso de obtener (García-Martínez *et al.*, 2011).

En los sistemas doble propósito, la información para la mejora de la productividad en el trópico latinoamericano, entre ellos México, es escasa, especialmente en relación con los beneficios y costos de las estrategias de gestión alternativa (Absalón-Medina *et al.*, 2011).

En este sentido, se han utilizado los modelos de simulación para evaluar las limitaciones y potencial de la productividad, de la gestión y manejo de la UP, con el objetivo de encontrar estrategias que permitan y favorezcan la toma de decisiones y el aprovechamiento de los recursos disponibles (García-Martínez *et al.*, 2011).

El objetivo de estos casos de estudio es maximizar el beneficio económico, mediante el desarrollo de diversas estrategias que incrementen la producción con el aprovechamiento de los recursos propios de la UP y el uso reducido de insumos externos.

2.4.1. Modelos de simulación

Un modelo se define como una representación simplificada de una realidad. Desde un punto matemático, un modelo es una teoría de un objeto o fenómeno real.

La ventaja de los modelos matemáticos de simulación frente a los enfoques tradicionales para la valoración o elaboración de sistemas aparece porque los conceptos y datos son transformados en ecuaciones matemáticas, que pueden ser resueltas rápidamente por las computadoras y proporcionar un enfoque dinámico y cuantitativo del sistema (Blake y Nicholson, 2002).

Esta orientación fue el resultado de que mucha investigación no se puede hacer en el laboratorio o bien, ya que las UP son dinámicas y las variaciones no son fácilmente controlables. El uso de modelos, permite la experimentación con el sistema de forma global. Una vez que el modelo se considera adecuado, los experimentos llamados simulaciones pueden ser realizados y validados en sistemas reales.

Desde un punto de vista sistemático, las simulaciones permiten valorar un gran número de alternativas dentro de diferentes marcos económicos y sociales. Gracias a la aplicación de la modelización, la investigación en sistemas ganaderos ha desarrollado conceptos, métodos y herramientas para dirigir la actividad ganadera como un todo (Gibon *et al.*, 1999).

Los modelos no solo ayudan a la solución de problemas, al permitir una simplificación de la realidad, sino que también son útiles para formular preguntas de investigación (García-Martínez *et al.*, 2011).

2.4.2. Tipos de modelos

2.4.2.1. Básico

Su objetivo principal es ampliar conocimientos y sus beneficios no son cuantificables, excepto por evidencias históricas. Estos han sido aplicados a estudios relacionados con bovinos en engorda para producción de carne (Oltjen *et al.*, 1986).

2.4.2.2. Aplicado

Tienen por objetivo solucionar un problema. La solución implica una ampliación del conocimiento tanto científico como empírico.

2.4.2.3. Estáticos

Representan el estado de un sistema solamente en un instante, ejemplo, las tradicionales tablas de necesidades nutritivas de los animales de granja.

2.4.2.4. Dinámicos

Describen el tiempo explícitamente, siendo una variable más del modelo. Utilizados mayormente en la ganadería.

2.4.2.5. Mecanicista

Aquel que representa los mecanismos subyacentes.

2.4.2.6. Determinista

Aquel que hace predicciones exactas para cantidades como el peso del animal o la producción de leche, sin ninguna distribución de probabilidad asociada (France y Thornley, 1984).

2.5. Oportunidades y desafíos para los sistemas de producción de doble propósito en el trópico de México

A pesar de las bondades y oportunidades que representa el trópico para incrementar su contribución a la producción de leche y carne nacional, existe una falta de información sobre los costos y beneficios comparativos de las diferentes alternativas tecnológicas disponibles para aumentar la producción de leche. Esta falta de información limita seriamente las políticas de intensificación, desarrollo y mejoramiento integral del sistema. La base de las oportunidades radica en el uso ordenado y racional de sus recursos, en especial, el suelo, agua, forrajes y animales para hacer eficiente la actividad ganadera en producción de leche y carne. Así como el reconocimiento de las limitaciones de sus recursos y la utilización de las tecnologías más apropiadas (García-Martínez *et al.*, 2011).

El uso ordenado del suelo, agua, plantas y animales deben ser considerados como piezas fundamentales para las políticas y programas de desarrollo de las regiones ganaderas (Blake y Nicholson, 2002). Además, es necesario conocer las estaciones de mayor y menor producción de forrajes, ya que la alimentación es fundamental en ganadería.

México registra actualmente dos fenómenos sociales, el aumento demográfico y la urbanización, ambos son para el país las principales fuerzas que provocan mayores demandas de alimentos tanto de origen animal como vegetal. Esto conlleva mayor uso de tierras para cultivos agrícolas y áreas de pastizales para la producción de proteína de origen animal (Gómez *et al.*, 2002).

Sin embargo, a largo plazo la mayor intensidad en el uso del suelo, sin control de en el reciclaje de nutrientes y estrategias de manejo que conserven las propiedades del suelo y eviten su degradación, conducirá a decrementos en la productividad tanto del mismo suelo como del animal que depende del forraje. Esto aumentará la deforestación y reducción de las fuentes de agua así como de las reservas de la biodiversidad (Blake y Nicholson, 2002).

El potencial de producción de biomasa de los forrajes tropicales nativos y mejorados o leguminosas; ha sido demostrado ampliamente. Teniendo capacidad de mantener entre 7 y 9 kg de leche vaca⁻¹ día⁻¹ y entre 1000 y 2000 kg de leche por hectárea⁻¹ bajo condiciones de pastoreo sin suplementación. Las gramíneas con fertilización o asociadas con leguminosas, además de permitir aumentar la carga animal de 1 hasta 6 vacas pueden producir entre 6 y 12 kg de leche por vaca⁻¹ día⁻¹ y entre 2500 a 17000 kg de leche por hectárea⁻¹ (Combellas y Mata, 2002). Entre las tecnologías y alternativas de manejo para hacer frente a la estacionalidad figuran la irrigación, fertilización y conservación de forrajes. Adicionalmente se pueden agregar otras estrategias como las asociaciones entre gramíneas y leguminosas, así como la suplementación con concentrados y subproductos y el uso de árboles forrajeros. Cuáles serían las alternativas tecnológicas más apropiadas dependerá de varios factores como el tipo de suelo, disponibilidad de agua e inversión económica. Las bondades y limitaciones para los sistemas ganaderos tropicales han sido discutidas ampliamente por Palma (2005).

En consecuencia, el aumento de los volúmenes de producción de leche y carne del SDP en el trópico mexicano no radica en incrementar el número de vacas en ordeña como tampoco en los cambios en el uso actual del suelo hacia los cultivos forrajeros, sino en cambios y adecuaciones en el manejo nutricional, reproductivo y otros para mejorar la eficiencia reproductiva y productiva individual y del hato. También, para evitar impactos ambientales negativos, se deben integrar portafolios basados en el uso, manejo y optimización de los recursos regionales en los sistemas ganaderos, como el pasto, leguminosas y subproductos (Magaña, 2000).

Estos portafolios deberán promover el reciclaje de nutrientes efectivo entre el suelo, plantas y animales; mejorar la eficiencia en el uso de los nutrientes por el animal y usos alternativos de las áreas de pastoreo, especialmente en los sistemas agropecuarios más diversificados como los sistemas mixtos y silvopastoriles, sin olvidar que la aplicación de estas propuestas deben satisfacer las necesidades económicas de los productores.

III. JUSTIFICACIÓN

La globalización supone cambios sociales, económicos, ambientales y culturales que inciden especialmente en la productividad y en la competitividad de las UP. En este sentido, el medio ambiente socioeconómico en el que se desarrollan, influye en el desarrollo tecnológico de estas UP, en los procesos de producción y su eficiencia, en la gestión financiera y administrativa, así como en los canales o vías de comercialización o establecimientos de mercados y en la conservación de los recursos que disponen.

Aunque se ha realizado estudios sobre el manejo y gestión de las UP, desarrollo tecnológico, estrategias de alimentación y transformación de productos que se obtiene de la ganadería (carne y leche), no se ha abordado el estudio sistémico de las UP doble propósito en el sur del estado de México. Lo anterior, debido al elevado costo que supone el planteamiento de este tipo de acercamientos.

En función de lo anterior, la utilización de modelos de optimización y de simulación permite conocer la dinámica de las UP y diseñar estrategias de gestión y manejo, así como procesos de producción que mejoren las condiciones de la población directamente involucrada. Asimismo, favorecen el uso óptimo de los recursos disponibles, el cuidado del medio socioeconómico en el que se desarrollan y por lo tanto, el proceso de toma de decisiones, que se ajustan a las necesidades particulares de diversos tipos de estrategias de producción y de UP y pronosticar el futuro de la actividad.

IV. HIPOTESIS

El uso de modelos de simulación, permite la optimización y aprovechamiento de los recursos disponibles, favorecen los procesos de toma de decisiones y el manejo y gestión de unidades de producción de ganado doble propósito en condiciones tropicales.

V. OBJETIVOS

5.1. General

- Desarrollar escenarios de optimización de recursos disponibles y generar herramientas de apoyo en la toma de decisiones para el desarrollo y gestión de UPDP en condiciones de trópico seco.

5.2. Específicos

- Caracterizar UP DP en condiciones de trópico seco para parametrizar modelos de simulación.
- Generar modelos de simulación, que permitan simplificar u optimizar los procesos de producción en las UP DP.
- Generar herramientas que favorezcan los procesos de toma de decisiones para el adecuado manejo y gestión de UP DP.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Localización del área de estudio

El trabajo se realizará en Tlatlaya, estado de México. El municipio se localiza en el sur del Estado de México (Figura 1). Tomando en específico el municipio de Tlatlaya, en las 18°37'01" N 100°12'27" O. Sus coordenadas extremas máximas son 18°40'37" N y 100°26'47" O y, mínimas de 18°21'57" N y 100°04'07" O.

Su territorio asciende a 791.41 km², lo que representa el 3.55% del estado. El clima predominante se clasifica como Aw (w) (i) g, o tropical subhúmedo, con lluvias en verano. Aunque de acuerdo a la estación del año y puntos geográficos específicos, pueden identificarse climas frío, templado y cálido.

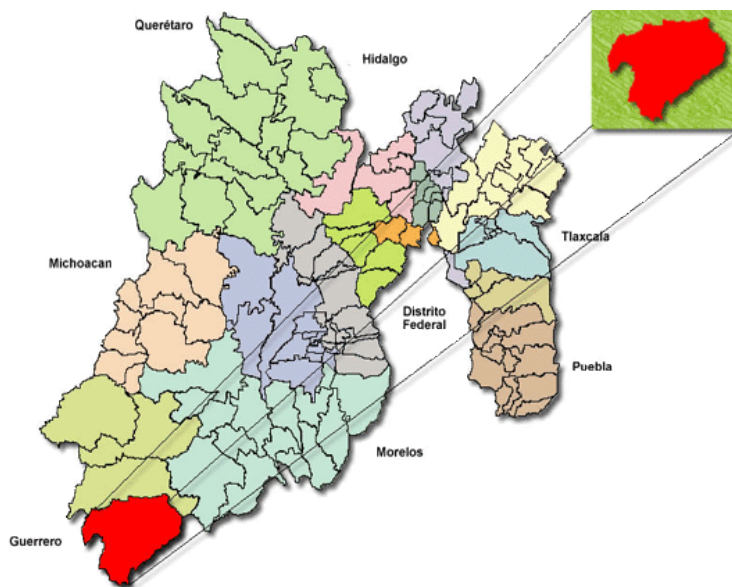


Figura 1. Localización del Municipio de Tlatlaya, Estado de México.

6.2. Recolección de Información

Seguimiento técnico-económico de explotaciones; en esta fase, se realizará el seguimiento de explotaciones tipo para la obtención de indicadores sociales (disponibilidad de mano de obra, productividad de los principales forrajes identificados (pastos, arbustos y árboles forrajeros) utilizados en la alimentación del ganado bovino, consumo voluntario de alimento y periodos de utilización, indicadores económicos (costos de producción e ingresos), orientación de la producción o productos comercializados (carne y leche y sus derivados), aspectos políticos que afecten el sistema y el ambiente en que se desarrollan. La determinación de indicadores económicos se realizará mediante la metodología de presupuestos parciales (Wiggins *et al.*, 2001), para analizar la economía basada en principales costos y retornos de la unidad de producción y sus factores influyentes. Los seguimientos técnico-económicos, tienen ventajas por su carácter dinámico (Gibon, 1981), ya que normalmente se repiten en intervalos de tiempo regulares y por tanto permiten recoger los flujos de factores de producción que se suceden en el tiempo. Además, permiten la recolección de información más precisa y detallada, sin embargo la muestra de explotaciones suele ser pequeña y la extrapolación de resultados debe hacerse con cuidado (Yin, 1994). En función de lo anterior se podrán proponer alternativas y estrategias de alimentación en las que se incluyan las variedades de maíz identificadas en la zona de estudio.

Fuentes de información secundaria; los seguimientos técnico-económicos se complementarán con información que se obtendrá de fuentes oficiales como SAGARPA, SEDAGRO, INEGI, SIAP, tesis profesionales especializadas sobre optimización y aprovechamiento de recursos disponibles en la UP y ganado bovino, tanto nacionales como internacionales.

6.3. Parametrización de modelos de simulación

Finalmente para la **propuesta de estrategias de manejo**; una vez que se tenga la información necesaria se modelizarán diversos escenarios mediante programación lineal, para encontrar las combinaciones de manejo y gestión óptimas en función del modelo, descrito por García-Martínez *et al.* (2011)

Se optimizará una función lineal, cuya formulación se expresa:

$$f(x) = \sum_{j=1}^n e_j x_j$$

sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq b_i \quad i = 1, \dots, m$$

$$\text{con } x_{ij} \geq 0$$

Dónde: x_{ij} es el nivel de actividad j -ésima por lo que n denotará el número de actividades; c_j representa el margen de beneficio o costo que supone producir una unidad de j -ésima; a_{ij} representa la cantidad de i -ésimo recurso necesario para producir una unidad de la j -ésima actividad. Por tanto, m denotará el número de recursos y, b_i representa la cantidad disponible del i -ésimo recurso o sus necesidades.

De forma matricial la formulación del problema será el siguiente:

$$\text{Optimizar } z = c x$$

$$\text{Sujeto a } A x \leq b$$

$$x \geq 0$$

Dónde: A es la matriz de coeficientes técnicos; b es el vector de disponibilidad de recursos y c es el vector de precios o costos unitarios.

Finalmente, se formulará el modelo matemático general que presentará la estructura estándar de un modelo de Programación Lineal (PL). La función objetivo del modelo expresará el Margen Bruto (MB) de las UP. La solución óptima del modelo se obtendrá maximizando la función económica de acuerdo a la siguiente fórmula general:

$$F = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I X_{ji} P_j + \sum_{i=1}^I X_i S_i + \sum_{k=1}^K H_k S_k - \sum_{i=1}^I X_i G_i - \sum_{k=1}^K H_k G_k - \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T F_{lkt} C_l - \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T C_{pt} P_p$$

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

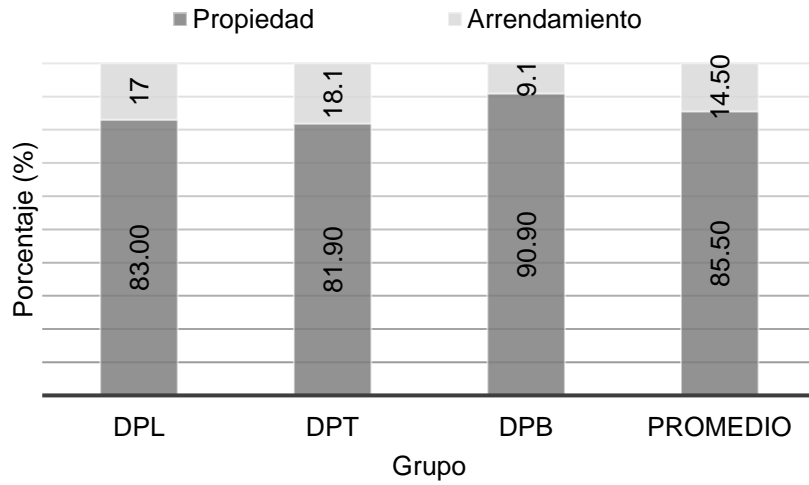
7.1. Caracterización de las unidades de producción (UP) doble propósito (DP)

Las principales características estructurales se muestran en la Cuadro 4. UPDPL es el grupo con menor antigüedad. Presenta un importante porcentaje de mano de obra contratada y, ocupa el segundo lugar en número de vacas y además de la superficie disponible, alquilan tierra, principalmente UPDPL y UPDPT Figura 2 para producir forraje. El UPDPT agrupa ganaderos de mayor edad y UP antiguas. Presenta el mayor número de vacas y ocupa el segundo lugar en superficie, para producción de forraje y maíz y, el grupo UPDPC se integra por UP de mayor antigüedad, aunque la edad del ganadero es menor. Además cuenta principalmente con mano de obra familiar, como se muestra en la Figura 3; mayor superficie para forraje Figura 4 y menor número de vacas.

Cuadro 4. Características estructurales de las PU DP en la zona de estudio

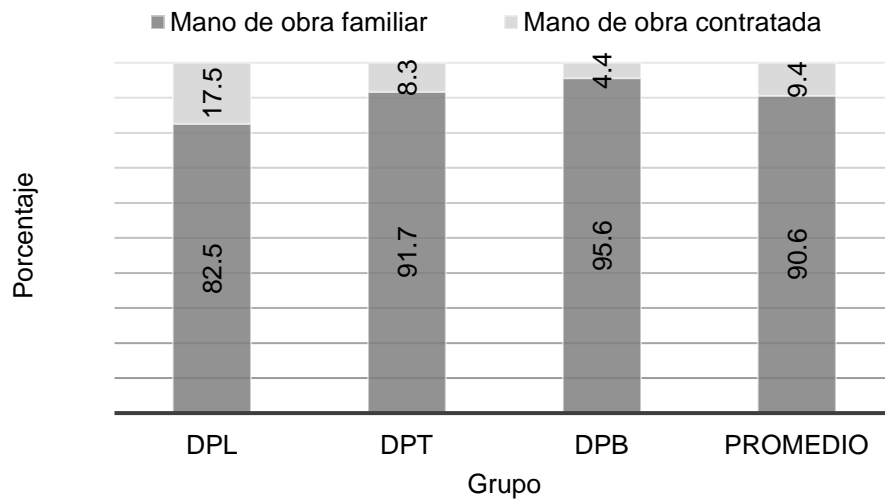
Variable	UPDPL	UPDPT	UPDPC	Promedio
Número de UP	17	29	21	67
Porcentaje sobre el total (%)	25.4	43.3	31.3	100
Antigüedad de la UP	48.4	63.1	52.7	56.1
Edad del ganadero	59.7	59.7	57.2	58.9
Superficie de tierra	39.4	58.0	66.1	55.8
Número de vacas	24.5	26.1	15.2	22.3

UP = Unidades de producción; UPDPL = Unidades de producción doble propósito leche; UPDPT = Unidades de producción doble propósito tradicional; UPDPC unidades de producción doble propósito carne.



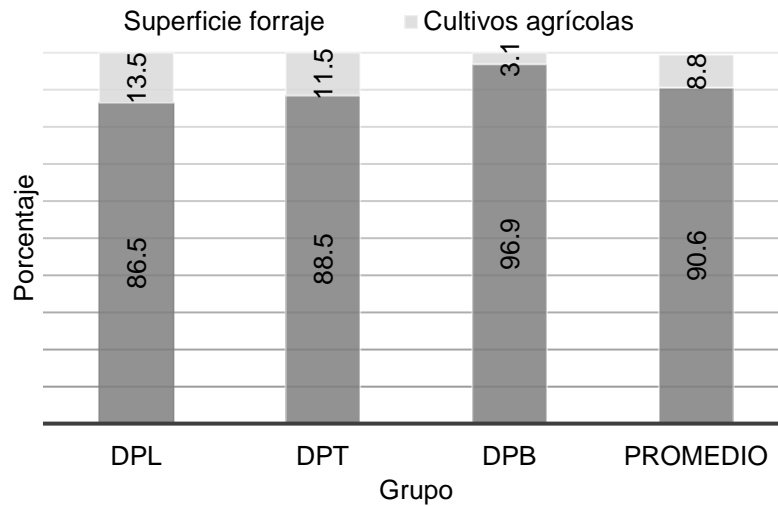
DPL = Doble propósito leche; DPT = Doble propósito tradicional; DPB = Doble propósito carne.

Figura 2. Proporción y tenencia de la tierra en las unidades de producción.



DPL = Doble propósito leche; DPT = Doble propósito tradicional; DPB = Doble propósito carne.

Figura 3. Proporción de la mano de obra disponible en las UP doble propósito.



DPL = Doble propósito leche; DPT = Doble propósito tradicional; DPB = Doble propósito carne.

Figura 4. Distribución y uso de la superficie agrícola útil.

7.2. Modelización de unidades de producción

7.2.1. Comparación de grupos originales y modelos de simulación

Los grupos originales y modelados, se muestran en el Cuadro 5. Como se puede observar, el MB del grupo modelado es mayor respecto al grupo original. Solo en el caso de UPDPT fue menor. Sin embargo, la variación está dentro del rango de 5% propuesto por García-Martínez (2008), para este tipo de escenarios. Se consideró solamente este indicador para parametrizar los modelos, debido a que el ingreso por la venta de productos y los costos de producción varían considerablemente por el tipo y origen de los recursos disponibles para el manejo y gestión de la UP. El grupo UPDPL fue el único caso en el que el ingreso y los costos, disminuyeron significativamente. No fue el caso en el grupo UPDPT y en el General, que mostraron un incremento considerable en el ingreso (33% en promedio), no obstante que los costos mostraron un mayor incremento (59% en promedio). Solo el grupo UPDPC, el modelo se ajustó completamente.

Estas variaciones se deben principalmente al ajuste en el uso y aprovechamiento de superficies destinadas a la producción ganadera y mayor aprovechamiento de pastizales naturales sobre todo para el segundo caso. Esta tendencia fue similar a la observada por García-Martínez *et al.* (2011).

En promedio, se observó una disminución de 180% en el uso de superficies en relación al indicador del modelo general. El modelo optimiza el uso de praderas y pastizales. Asimismo, el modelo hace referencia a la utilización de estas superficies para la elaboración de ensilado y minimizar costos del concentrado durante la época de invierno. Como se describe en la sección de precios DUAL o sombra.

El sistema modelado en este sentido indica que por cada hectárea de pradera cultivada el sistema tendría un costo extra de 5,495 pesos ha^{-1} y de 3.11 ha^{-1} para el caso de la incorporación de una hectárea de pastizal. Esto indica que puede existir un mayor margen de ganancia hacia el sistema con el aprovechamiento de las superficies para pastoreo.

Cuadro 5. Comparación datos originales y modelos

Variables	UPDPL _m	UPDPL _o	Diferencia	UPDPT _m	UPDPT _o	Diferencia
MB total	\$ 140,256.00	\$ 138,633.26	1.16	\$ 84,347.90	\$ 86,352.75	-2.38
Ingreso total	\$ 231,952.00	\$ 261,265.18	-12.64	\$ 247,678.00	\$ 152,487.55	38.43
Costo total	\$ 91,695.70	\$ 115,061.33	-25.48	\$ 163,330.00	\$ 51,689.97	68.35
Pastizales	2.91	2.91	0.00	5.98	5.98	0.00
SAU (praderas)	19.32	39.00	-101.86	22.50	58.03	-157.91
Vacas	25.00	25.00	0.00	26.00	26.00	0.00
UTA	1.57	1.81	-15.46	1.75	1.59	9.33

UPDPL = unidades de producción doble propósito leche; UPDPT = Unidades de producción doble propósito tradicional; UPDPC = Unidades de producción doble propósito carne; UPDPG = unidades de producción doble propósito general; _m = grupo modelado; _o = grupo original; MB = margen bruto total; SAU = Superficie Agrícola Útil; UTA = Unidad de Trabajo Año.

Cuadro 5. Comparación datos originales y modelos. Continuación.

Variables	UPDPC _m	UPDPC _o	Diferencia	General _m	General _o	Diferencia
MB total	\$ 27,028.20	\$ 26,403.93	2.31	\$ 80,903.90	\$ 80,828.03	0.09
Ingreso total	\$ 109,272.86	\$ 109,272.86	0.00	\$ 232,388.00	\$ 166,542.94	28.33
Costo total	\$ 67,578.45	\$ 67,578.45	0.00	\$ 151,484.00	\$ 72,749.24	51.98
Pastizales	20.50	20.50	0.00	9.75	9.75	0.00
SAU (praderas)	20.50	66.00	-221.95	19.11	55.00	-187.81
Vacas	16.00	16.00	0.00	23.00	23.00	0.00
UTA	0.97	0.97	0.00	1.55	1.45	6.53

UPDPL = unidades de producción doble propósito leche; UPDPT = Unidades de producción doble propósito tradicional; UPDPC = Unidades de producción doble propósito carne; DPG = unidades de producción doble propósito general; m = grupo modelado; o = grupo original; MB = margen bruto total; SAU = Superficie Agrícola Útil; UTA = Unidad de Trabajo Año.

Los principales resultados de la función objetivo del modelo de optimización, en la relación costo-beneficio, se muestra en el Cuadro 6. Se observa que el margen bruto (MB) obtenido presenta diferencias importantes en los tres grupos de unidades de producción (UP) de ganado doble propósito (DP), no obstante que UPDPL y UPDPT presentan un número de vacas similar. Solo UPDPC cuenta con un hato de vacas 35% menor respecto a los grupos antes mencionado.

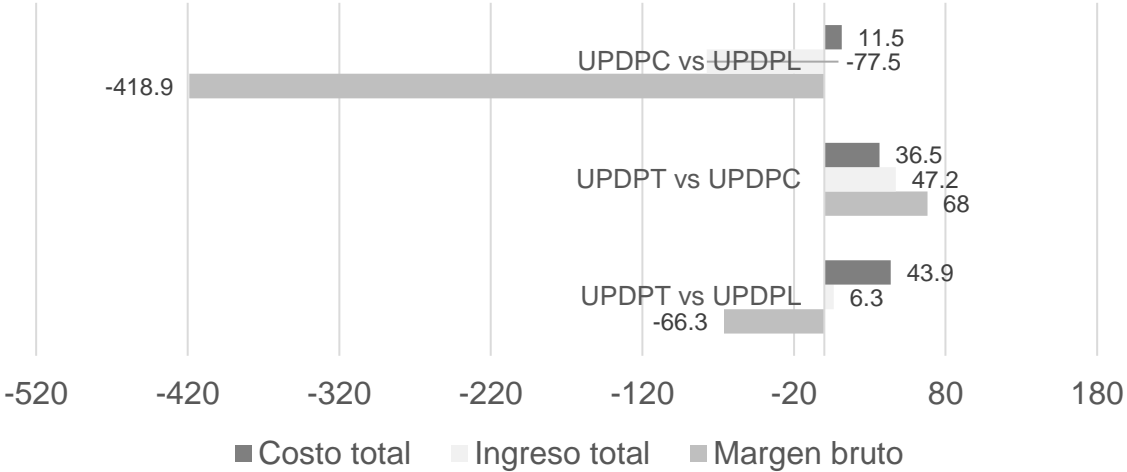
El MB fue mayor en las UPDPL. Las UPDPC son las que menor MB perciben. En tanto, las UPDPT obtienen un MB intermedio, pero presentan el mayor ingreso (IT). Sin embargo, el costo total (CT) también fue mayor, seguido de las UPDPC. Esta tendencia se ve reflejado en el menor MB percibido. Estudios recientes que han caracterizado la actividad ganadera, en condiciones de trópico seco (Estrada-López, 2017 y García-Martínez *et al.* 2017), indicaron que las UP orientadas a la producción de leche, son las que mayor costo de producción presentan, principalmente por el uso elevado de insumos externos, como granos y balanceados comerciales. Esta tendencia no se manifiesta cuando el modelo optimiza el aprovechamiento de los recursos disponibles.

Cuadro 6. Optimización de la relación costo - beneficio (\$)

Variables	UPDPL	UPDPT	UPDPC	General
Margen Bruto	140,256.00	84,347.90	27,028.20	80,903.90
Ingreso Total	231,952.00	247,678.00	130,677.00	232,388.00
Costo total	91,695.70	163,330.00	103,649.00	151,484.00

UPDPL=Unidades de producción doble propósito leche; UPDPT= Unidades de producción doble propósito tradicional; UPDPC= Unidades de producción doble propósito carne.

Considerando como referencia el sistema UPDPT, las diferencias existentes entre los indicadores antes mencionados entre grupos, se muestran en la Figura 5. En la primera relación resalta el mayor MB, así como en la tercera. En este sentido, es notorio el mayor beneficio obtenido en las UPDPL y se sitúa como una alternativa de producción en el trópico seco de México como lo han destacado Salas-Pérez *et al.* (2015) y Nájera-Garduño *et al.* (2015). Sin embargo, Vences-Pérez *et al.* (2015), indicaron que estas UP encaminadas a la producción de leche son poco representativas en zonas tropicales, por el número reducido observado y por la dificultad que supone la actividad en zonas geográficamente accidentadas. Por otra parte, García-Martínez *et al.* (2017), indicaron que las UPDPC, aunque numerosas en estas zonas, son las que menor ingreso perciben. Los mismos autores, resaltan que las UPDPT, son las que mejores condiciones de permanencia presentan adaptabilidad a zonas de montaña.



UPDPL=Unidades de producción doble propósito leche; UPDPT= Unidades de producción doble propósito tradicional; UPDPC= Unidades de producción doble propósito carne.

Figura 5. Diferencias de la optimización del ingreso, costos de producción y MB en las UP DP.

7.2.3. Variables de decisión

En el Cuadro 7, se muestran las variables de decisión y las diferencias existentes entre grupos. Las UPDPC son las que mayores recursos presentan. Se hace notar en la mayoría de las variables analizadas y en relación al grupo de UPDPL y UPDPT, a excepción del número de vacas, que como se ha mencionado anteriormente, es 35%. Diversos autores apuntan que la ganadería es la actividad económica de mayor importancia (Rojo-Rubio *et al.*, 2009) y que, aunque la producción de leche se complica por las características agroclimáticas, mantiene a la actividad ganadera en su conjunto (Hernández-Morales *et al.*, 2013) y la venta de carne es el rubro que mayor ingreso aporta a la UP (García-Martínez *et al.*, 2017).

El tipo de animal que el modelo obtiene, está en función de determinados indicadores utilizados en la parametrización, como lo ha establecido García-Martínez (2008) en sistemas ganaderos de montaña. Estos indicadores asumen que 50% de los becerros nacidos son machos y 50% hembras, con un 3% de mortalidad, respectivamente. Hasta el destete se tiene un 10% más de mortalidad. En función de lo anterior y ligado al número de vacas existentes en la UP, se obtiene el número de machos y hembras destetados. Asimismo, se considera 15% de reemplazo de vacas por año. El modelo es capaz de predecir el número de hembras de uno y dos años para reemplazo.

Las evaluaciones técnicas de los sistemas doble propósito, de acuerdo con Vera y Seré (1985) e ICA (1980,) indicaron que la principal restricción de las UP mixtas es de carácter técnico y en la ganadería tropical, es la limitada cantidad y baja calidad de los forrajes disponibles, especialmente en el periodo seco. Pese a esta situación los modelos, optimizan el uso y aprovechamiento de las superficies forrajeras, especialmente las superficies de pastizales, en función de la orientación de la producción y número de animales disponibles.

Cuadro 7. Variables de decisión

Variables	UPDPL	UPDPT	UPDPL vs UPDPT*	UPDPC	UPDPT vs UPDPC*	UPDPC vs UPDPL *
Uso pastizal	2.91	5.98	-51.30	20.50	-958.50	-85.80
No. de vacas	25.00	26.00	-3.80	16.00	-114.80	56.30
Hembras nacidas	12.25	12.74	-3.80	7.84	-130.20	56.30
Machos nacidos	12.25	12.74	-3.80	7.84	-130.20	56.30
Macho destetado	6.77	7.05	-3.80	4.34	-154.60	56.30
Hembra destetada	4.40	4.57	-3.80	2.82	-184.10	56.30
Reemplazo de vacas	3.75	3.90	-3.80	2.40	-198.60	56.30
Reposición (1 año)	4.10	4.27	-3.80	2.63	-190.10	56.30
Reposición (2 años)	4.08	4.25	-3.80	2.61	-190.60	56.20
Macho engordado	0.00	3.06	-100.00	3.07	-3370.50	-100.00
Hembra engordada	0.00	2.34	-100.00	2.35	-4376.60	-100.00

UPDPL=Unidades de producción doble propósito leche; UPDPT= Unidades de producción doble propósito tradicional; UPDPC= Unidades de producción doble propósito carne.

7.2.4. Principales ingresos de las unidades de producción

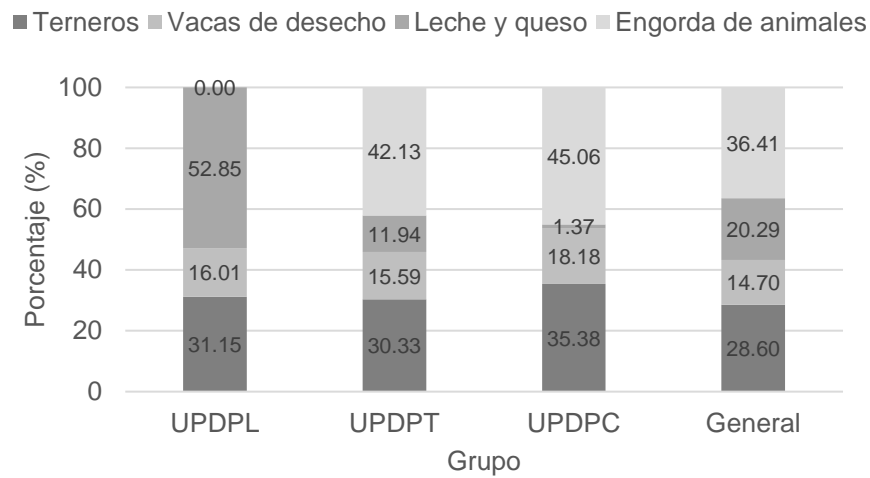
En el Cuadro 8, se muestran los resultados de los principales ingresos en las UP. El mayor ingreso lo perciben las UPDPL por la venta de leche, queso y terneros. Mientras que las UPDPT el mayor ingreso proviene de la venta de terneros y animales engordados. Por otra parte las UPDPC se encuentran en un punto intermedio, generando ingresos tanto por la venta de carne como de leche y sus derivados. Estudios apuntan a que, la producción de leche y carne constituyen un sistema complejo caracterizado por la interacción de un gran número de factores que incluye las praderas, los animales y las decisiones de manejo (Parra *et al.*, 1998). La producción de leche sostiene la actividad y la venta de carne, constituye el ingreso que complementa el MB (García-Martínez *et al.*, 2017).

Cuadro 8. Principales ingresos en las UP DP

Variable	UPDPL	UPDPT	UPDPC	General
Terneros	72,242.80	75,132.50	46,235.40	66,463.40
Vacas de desecho	37,125.00	38,610.00	23,760.00	34,155.00
Leche y queso	122,584.00	29,582.00	1,792.00	47,150.00
Engorda de animales	0.00	104,353.00	58,889.50	84,619.90

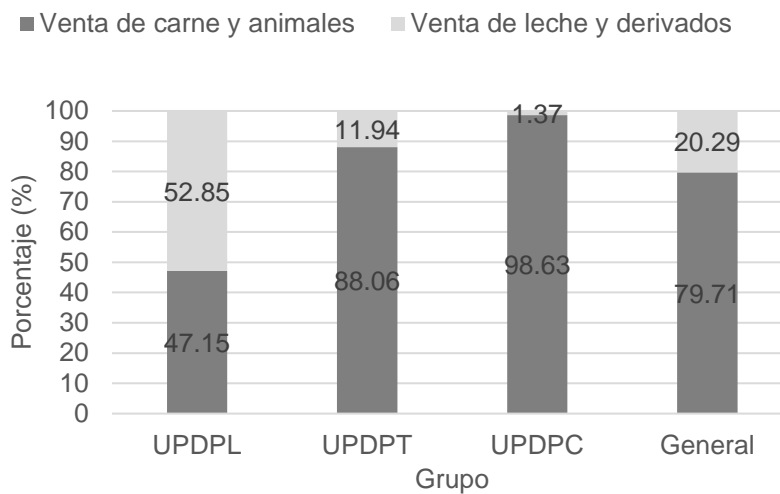
UPDPL=Unidades de producción doble propósito leche; UPDPT= Unidades de producción doble propósito tradicional; UPDPC= Unidades de producción doble propósito carne.

Sobresalen los ingresos generados por la venta de leche y queso en UPDPL y venta de becerros y animales engordados en UPDPT y UPDPC, como se muestra en la Figura 6. Los ingresos generados dependen del número de animales vendidos y del precio del mercado de la leche y la carne, considerados como productos inestables. Los precios de venta considerados fueron: leche = \$6.00; becerro engordado = \$64.46 por kg en canal y becerro en pie = \$33.23 por kg. El mayor aporte del ingreso a la UP, se genera de la venta de leche y carne, como se muestra en la Figura 7.



UPDPL=Unidades de producción doble propósito leche; UPDPT= Unidades de producción doble propósito tradicional; UPDPC= Unidades de producción doble propósito carne.

Figura 6. Proporción de los principales ingresos en las UP



UPDPL=Unidades de producción doble propósito leche; UPDPT= Unidades de producción doble propósito tradicional; UPDPC= Unidades de producción doble propósito carne.

Figura 7. Porcentajes de ingreso de carne y leche y sus derivados

Las diferencias existentes entre grupos se observa en la Figura 8. El mayor ingreso se observa en las UPDPL y UPDPC. Diferentes autores indicaron que la venta de leche, es el mayor sustento familiar en UP de la región (Hernández-Morales *et al.* 2013). Así mismo la venta de leche se mantiene porque genera efectivo diario y empleo en zonas rurales (Espinoza-Ortega *et al.*, 2007; Albarrán-Portillo *et al.*, 2015), como se ha evidenciado con la ejecución de los modelos planificados. No obstante, que de acuerdo con Vences-Pérez *et al.* (2015), el censo de UP dedicadas a esta actividad, ha disminuido. Con frecuencia se ha considerado que el sistema de producción de DP es ineficiente, de baja productividad y rentabilidad, creencia desmentida por numerosos estudios (García-Martínez *et al.*, 2017, Holmann *et al.*, 1999, Rivas, 1992).

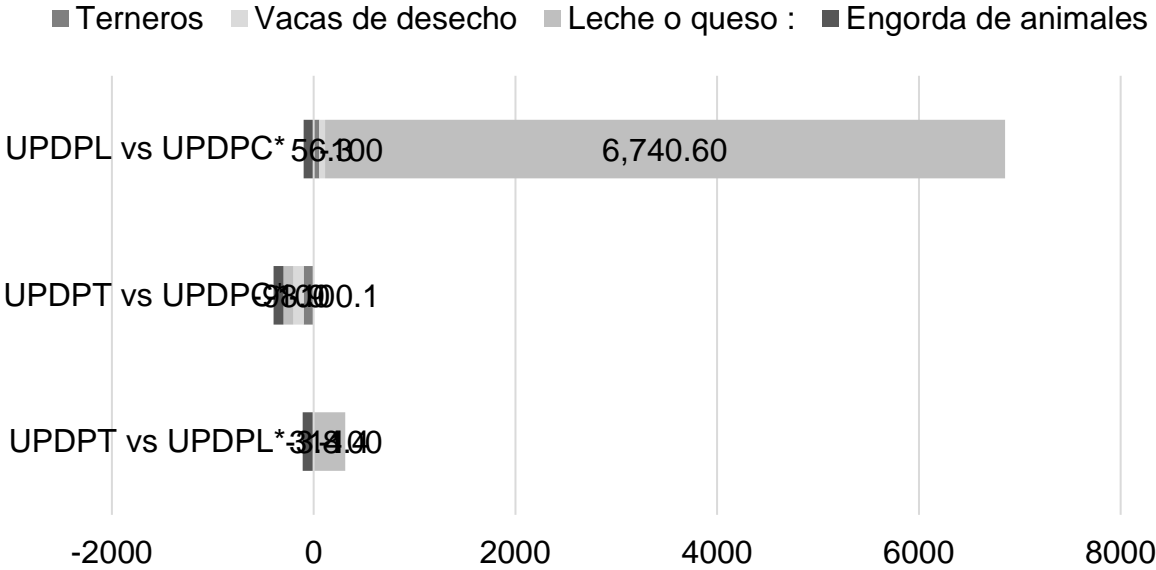


Figura 8. Diferencia de la optimización de los ingresos de las UP.

7.2.5. Principales costos en las UP

Los costos de producción de las UP de acuerdo con los modelos, dependen de la orientación de la producción y del producto final de la actividad ganadera (carne o leche). Lo anterior conlleva la utilización o no de insumos externos, principalmente concentrados comerciales en el caso de la producción de leche y en la engorda de animales.

Los principales costos considerados para parametrización de los modelos fueron: ternero = \$2,005.00; engorda de animales = \$6,205.00, hembras para reposición de un año = \$6,209.72; hembras para reposición de dos años = \$6,178.7; vaca = \$552.24 y el costo de la producción de pastos, se consideraron \$0.3 Kg MS consumida.

Costos de tierra no se consideran, porque se están utilizando pastizales o pastos naturales y por consiguiente no se consideran actividades que requieran un costo adicional. En cambio los cultivos agrícolas, si requieren de algunas actividades tales como preparación de la tierra, siembra, fertilización y el proceso de conservación del forraje, principalmente el proceso de ensilado y henificado. Según Rojo-Rubio *et al.* (2009), las estrategias de producción no son apropiadas y hay limitaciones de gestión y manejo.

Los costos totales de las UP se muestran en el Cuadro 9. En el caso de las UPDPT y UPDPC, la engorda de animales supone mayor costo de producción. En el caso del primer grupo, la complementación el costo de la cría y mantenimiento de animales para reemplazo, presenta cifras elevadas en relación a los otros dos grupos. De hecho es el indicador que dispara los costos del grupo. En el caso de las UPDPL se especializan en la producción de leche y venta de terneros destetados, por lo tanto existe menor costo relacionado con estos indicadores.

Cuadro 9. Costos totales de las unidades de producción.

Variables	UPDPL	UPDPT	UPDPC	General
Vaca	42,305.3	6,459.96	7,063.52	12,701.5
Reposición de un año	1,158.32	26,502.5	16,309.2	23,444.5
Reposición de dos años	1,146.78	26,238.2	16,146.6	23,210.7
Terneros	47,076.8	48,959.8	30,129.1	43,310.6
Pastos	8.60	17.68	60.63	28.84
Animales engordados	0	55,151.8	33,939.5	48,788.1

UPDPL=unidades de producción doble propósito leche, UPDPT= Unidades de producción doble propósito tradicional; UPDPC=Unidades de producción doble propósito carne.

7.2.6. Producción de forraje en la UP

Los alimentos disponibles para satisfacer las necesidades alimenticias de los animales son fundamentalmente praderas y pastizales, los recursos con los que cuenta la propia UP. En este sentido, fueron los pastos cultivados y naturales los que se utilizaron en la modelo, dada la dificultad para cuantificar el consumo de árboles o arbustos forrajeros. Las características nutricionales de estos recursos (solo EN y MS), fueron estimados a partir de información de la base de datos FEEDIPEDIA (2018), editada por el INRA, CIRAP y la FAO, de acuerdo a García-Martínez (2008). Los principales pastos encontrados en las zona de estudio fueron: Los pastos presentes en las UP fueron Pasto estrella (*Cynodon plectostachyus*), Zacatillo (*Brachiaria plantaginea*), Pata de gallina (*Eleusine indica*), Frente de toro (*Paspalum notatum*), Gramma (*Paspalum conjugatum*), Pata de gallo (*Digitaria bicornis*), Llanero (*Andropogon gayanus*), Chontalpo (*Brachiaria decumbens*), Mulato (*Brachiaria híbrido*) y Tanzania (*Panicum máximum*), entre otros (Ortiz-Rodea, 2013).

La producción de forraje (Ton MS) se consideró de acuerdo a la época del año y la cantidad calculada por la simulación, se observa en el Cuadro 10. Se evidencia que la menor producción en los tres grupos es menor en invierno, se estabiliza en primavera y verano y se potencia en otoño. Asimismo, que la producción de forraje total en orden de producción mayor en UPDPC, UPDPT y UPDPL. Esta tendencia se debe a la mayor disponibilidad de superficie en el primer caso.

Sin embargo, el modelo ajusta la superficie para que se cumpla con los requerimientos de alimento para el ganado. Es decir, se optimiza el uso de superficies para pastoreo (pastos naturales) y se eliminan los cultivos agrícolas, ya que el mantenimiento de estas superficies, suponen un mayor costo de gestión y mantenimiento. Al respecto Bellido *et al.* (2001), indicaron que la producción es estacional y su disponibilidad para el ganado, está condicionada por las condiciones agroclimáticas por lo tanto, la calidad nutricional del alimento para el ganado, presentara variaciones a lo largo de un ciclo biológico.

Por lo anterior y de acuerdo con varios autores, se deben implementar estrategias de conservación para el aprovechamiento eficiente de los recursos disponibles, (Nájera-Garduño *et al.*, 2016; Rojo-Rubio *et al.*, 2009).

Cuadro 10. Producción de forraje por épocas del año (Toneladas de MS)

Periodos	UPDPL	UPDPT	UPDPC	GENERAL
Invierno	4.77	9.81	33.62	15.99
Primavera	5.74	11.80	40.47	19.25
Verano	8.62	17.71	60.70	28.87
Otoño	9.56	19.64	67.34	32.03

UPDPL=unidades de producción doble propósito leche, UPDPT= Unidades de producción doble propósito tradicional; UPDPC=Unidades de producción doble propósito carne.

7.2.7. Requerimientos nutricionales del ganado

Los requerimientos de alimento (MS) y nutrientes (EN), se calcularon en base al estado productivo del hato (vaca, ternera (o), vaquilla), por época del año. De acuerdo a los resultados que se muestran en el Cuadro 11, el forraje producido o disponible en las superficies de tierra destinados la producción de pastos o pastizales, cubre todas las necesidades de EN y MS en cada grupo de UP analizados. Dado que el modelo optimiza la superficie y el aprovechamiento de los forrajes, no considera complementación con concentrados comerciales.

Los requerimientos de alimentos y nutrientes, en sistemas modelados, está influenciada por varios factores como el peso del animal, la producción de leche o etapa de lactancia. Asimismo, por las variaciones de nutrientes del mismo forraje por época del año o del procesamiento que este pueda recibir para sus conservación, así como el sistema y el tiempo de alimentación (García-Martínez, 2008).

García-Martínez *et al.* (2011) observaron una tendencia de aumento en uso de superficies para pastoreo para reducir el uso de insumos externos y los costos de producción. Al respecto, Pech *et al.* (2002) y Shamsuddin *et al.* (2006) demostraron que el costo por alimentación puede disminuir 10.0% cuando aumenta la superficie para pastoreo.

Cuadro 11. Necesidades alimenticias por época del año

VARIABLES	UPDPL	UPDPT	UPDPC	GENERAL
Energía Neta (EN) total	0	0	0	0
Materia Seca (MS) total	-55444	-55609	-22531.8	-46092.8

UPDPL=unidades de producción doble propósito leche, UPDPT= Unidades de producción doble propósito tradicional; UPDPC=Unidades de producción doble propósito carne.

7.2.8. Disponibilidad de mano de obra

La disponibilidad de mano de obra (MO) en la explotación se expresa en Unidades de Trabajo Año (UTA). Es decir una persona que labora una jornada de 8 horas de trabajo por día, 270 días por año. De forma que los cálculos para este caso, arrojaron un total de 1.2 UTAs. El uso de la mano de obra disponible, incrementa durante la primavera, ya que es el periodo de partos o empadres y manejo de instalaciones.

Los resultados de la optimización de la mano de obra se muestran en el Cuadro 12. El modelo optimiza el uso de MO, de forma que indica una reducción de 47.20%, debido a que en promedio en los grupos originales, en las UP se laboraban 788 horas por año para realizar las actividades relacionadas con el manejo del ganado. En este sentido, los grupos modelados solo utilizan un total de 572.21, 640.06 y 393.88, respectivamente para el UPDPL, UPDPT y UPDPC. Esta mano de obra es mayoritariamente de tipo familiar, similar a los resultados de García-Martínez (2008), Dent *et al.* (1986) y Cabanes (2000).

Otros autores opinan que entre los factores que influyen en la contratación de mano de obra, están las actividades múltiples de la familia y el aumento de superficie y hato, que inducen a un uso intensivo de la mano de obra (García- Martínez *et al.*, 2011). En este tenor, las UPDPC son las que menor mano de obra requieren.

Cuadro 12. Necesidades de mano de obra durante las estaciones del año

Periodo	UPDPL	UPDPT	UPDPL vs UPDPT	UPDPC	UPDPC vs UPDPT*	UPDPL vs UPDPC*
Invierno	101.22	127.752	-20.8	78.6166	-116.3	28.8
Primavera	323.726	336.676	-3.8	207.185	-101.1	56.2
Verano	64.2916	66.8633	-3.8	41.1466	-105.8	56.3
Otoño	82.9675	108.769	-23.7	66.9348	-121.8	24.0

UPDPL=unidades de producción doble propósito leche, UPDPT= Unidades de producción doble propósito tradicional; UPDPC=Unidades de producción doble propósito carne.

7.2.9. Parámetros DUAL o sombra

Los precios DUAL dan cuenta y nos indican sobre los costos de oportunidad o precios de los recursos en el caso de que estos puedan ser utilizados o sustituidos en la alimentación del ganado (pastos, pastizales, concentrados, henos o ensilados) o, por la presencia o ausencia (tierra, animales o mano de obra).

En el Cuadro 13, se muestran los resultados de esta situación. En el caso de las UPDPL y UPDPC el modelo optimiza los recursos, de forma que con lo que propone, se cubren todas las necesidades de alimento y nutrientes para los animales. En el caso de las UPDPT y en el modelo general, ocurre que aunque se cumplen las necesidades del sistema, en el caso de que se incorporara una ha de pradera, el sistema tendría pérdidas económicas en promedio de 5, 147.28 en promedio y de \$3.11 para el caso de incorporar una Ha más de pastizales. Desde esta perspectiva, el modelo muestra las bondades de los pastizales, ya que el costo de mantenimiento es mínimo y no repercutiría en el costo total por concepto de alimentación, como lo evidencio García-Martínez (2008), en sistemas ganaderos de montaña.

Por otra parte, bajo este enfoque, en los tres grupos el modelo indica que es necesario complementar con concentrados comerciales durante el invierno, aunque con cantidades mínimas de estos insumos externos, ya que las necesidades se cubren casi en su totalidad por los pastos. Asimismo, incorporar a la dieta ensilado de maíz, en el caso de las UPDPL y UPDPC, en primavera e invierno, se tendría una pérdida de \$855.79 en promedio por tonelada. Sin embargo, el gasto no mejoraría el MB total.

Cuadro 13. Parámetros DUAL de los modelos

Variables	UPDPL	UPDPT	UPDPC	UPDPG
Praderas	0	-4,798.57	0	-5,496.00
Pastizales	0	-3.11	0	-3.11
Concentrado utilizado en invierno	55.36	53.34	8.69	40.79
Ensilado primavera-invierno	-1,156.18	0	-555.4	0

UPDPL=unidades de producción doble propósito leche, UPDPT= Unidades de producción doble propósito tradicional; UPDPC=Unidades de producción doble propósito carne.

VIII. CONCLUSIONES

Existe una gran diversidad de UP en el trópico seco del sur de estado de México y disponibilidad de recursos para su funcionamiento.

Los modelos de simulación tienen la capacidad de identificar diversas estrategias de producción y optimizar el uso de los recursos disponibles.

Los modelos de simulación tienen la capacidad de identificar la orientación de la producción de las UP (carne, leche, mixto), en función de las características estructurales y de manejo y gestión de los recursos disponibles y, por lo tanto, identificar las estrategias para la gestión y manejo óptimos de éstos.

La producción y venta de leche y sus derivados es la actividad que mayor ingreso aporta en las UP y se perfila como la actividad de mayor desarrollo.

Los modelos de simulación son herramientas de apoyo en la toma de decisiones óptimas del ganadero, para el manejo y gestión de la UP en función de la orientación productiva.

IX. RECOMENDACIONES

Aplicación de otras técnicas de simulación que den cuenta de los objetivos prioritarios de los ganaderos encaminados a la producción para obtener resultados más precisos, para la toma de decisiones.

Para lograr que los modelos de simulación no presenten dificultad al ser parametrizados, los estudios realizados deben ser específicos, y así los resultados sean confiables.

X. AGRADECIMIENTOS ACADÉMICOS

Se agradece a la Universidad Autónoma del Estado de México, por el apoyo económico del Proyecto “Evaluación de la sostenibilidad de la ganadería bovina en México, Argentina y Paraguay, desde un enfoque territorial: situación actual y perspectivas ante retos sociales, ambientales, económicos y tecnológicos. Segunda Fase. Clave de Convenio UAEM 4369/2017/CI, en cual se insertó este trabajo de tesis. Asimismo a los ganaderos del municipio de Tlatlaya, Estado de México y a los investigadores de la Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Lerma, del Centro Universitario de los Altos de Jalisco-Universidad de Guadalajara y del Centro Universitario UAEM Temascaltepec, Universidad Autónoma del Estado de México, que colaboraron en el trabajo.

XI. BIBLIOGRAFÍA

- Absalón-Medina, V. A., 2008. Productivity limitations and potentials for dual-purpose cow herds in the central coast (leeward) region of Veracruz, Mexico. Unpublished MS thesis, Cornell University.
- Absalón-Medina, V. A., Blake, R. W., Juárez-Lagunes, F. I., Nicholson, C. F., Canudas-Lara, E. G., Rueda-Maldonado, B. L. 2008. Limitations and potentials for dual-purpose cow herds in the central coast (leeward) region of Veracruz, Mexico. *Tropical Animal Health Production*. 44(6):1131-42.
- Aguilar, C., Cortés, H., Allende, R. 2002. Los modelos de simulación. Una herramienta de apoyo a la gestión pecuaria. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 10(3): 226-231.
- Albarrán-Portillo, B., S. Rebollar-Rebollar, A. García-Martínez, R. Rojo-Rubio, F. Avilés-Nova, and C. M. Arriaga-Jordán. 2015. Socioeconomic and productive characterization of dual-purpose farms oriented to milk production in a subtropical region of Mexico. *Trop. Animal Health Prod.* 47: 519-523.
- Aluja, A. y E. Castillo. 1991. Experiencias en investigación y transferencia de tecnología sobre la producción de leche en el CIEEGT. *Memorias. Seminario Internacional sobre Lechería Tropical. I. FIRA. Villahermosa, Tabasco, México.* 84-93 pp.
- Anderson, S., and J. Wadsworth. 1995. *Proceeding of the International Workshop on Dual Purpose Cattle Production Research.* IFS, UADY. Mérida, Yucatán, México. p. 368.
- Bellido M., M., M. Escribano S., F. J. Mesías D., A. Rodríguez L., y F. Pulido G. 2001. Sistemas extensivos de producción animal. *Arch. Zootec.* 50: 465-489.

- Blake, R. W. and C. Nicholson. 2002. Livestock, land usage and environmental outcomes in the developing world. In: Eds: Owen, E., T. Smith, M. A. Steele, S. Anderson, A.J. Duncan, M. Herrero, J. D. Leaver, C. K. Reynolds, J. I. Richards, and J. C. Kú-Vera. Responding to the livestock revolution: the role for globalization and implication for poverty alleviation. BSAS Publication 33. Nottingham University Press. 133-153.
- Cabanés, M. F. 2000. La empresa agraria, su planificación mediante programación matemática. IMAGRAF. Andalucía, España. 473 pp.
- Camargo, M. 2000. Sistemas de vacunos doble propósito. X Congreso Venezolano de Zootecnia. UNELLEZ-Guanare, Venezuela. 193-199.
- Combellas, J., y D. Matta. 1992. Suplementación estratégica de bovinos de doble propósito. En: Ed. S. Fernández-Baca. Avances en la Producción de Leche y Carne en el Trópico Americano. FAO, Santiago, Chile. 99-130.
- CONARGEN 2000. Comité Nacional de los Recursos Genéticos. Plan de acción para ganado bovino de doble propósito. México, D.F. p. 22
- Dent, J. B., Harrison, S. R. y Woodford, K. B. 1986. Farm planning with lineal programming: Concept and practice. Butterworths. Sydney. Australia. 209 pp.
- Espinoza-Ortega, A., E. Espinosa-Ayala, J. Bastida-López, T. Castañeda-Martínez, and C. M. Arriaga-Jordán. 2007. Small-scale dairy farming in the highlands of central Mexico: Technical, economic and social aspects and their impact on poverty. Exp. Agr. 43: 241-256.
- Estrada-López, I., Macías-Farrera, G. P., Robles-albores, F., Albarrán-Portillo, B., García Martínez, A. y Yong-Ángel G. 2016. Composición de la leche de bovinos doble propósito bajo tres niveles de suplementación. Congreso Mesoamericano de Investigación UNACH. 3: 810-814. ISSN: 2395-8111. México.

- FEEDIPEDIA. 2018. Animal feed resources information systmes. INRAM CIRAD y FAO. Disponible en: <http://www.feedipedia.org>. Consultado: enero de 2018.
- García, G. I. y Prida, R. B. 2004. La gestión ambiental. Un ámbito adecuado para el desarrollo y aplicación de técnicas multicriterio en la toma de decisiones. ECOIURIS. 8-16.
- García-Martínez, A., A. Bernúes, and A. Olaizola. 2011. Simulation of mountain cattle farming system changes under diverse agricultural policies and off-farm labour scenarios. *Livest. Sci.* 137: 73-86.
- García-Martínez, A., López-Gama, R., Morales-Almaraz, E., Martínez-García, C. G., Albarrán-Portillo, B. y Rayas-Amor, A. A. 2017. Análisis productivo y económico de unidades de producción de ganado bovino para carne en Tlatlaya, estado de México. *Agroproductividad.* 10 (10): 22-28.
- Gibon, A., Sibbald, A. R., Flamant, J. C., Lhoste, P., Revilla, R., Rubino, R. y Sorensen, J. T. 1999. Livestock farming systems research in Europe and its potential contribution for managing towards sustainability in livestock farming. *Livestock Production Science* 61 (2-3): 121-137.
- Gómez, E. U., Andrade, H. H., Vázquez, A. C. 2015. Lineamientos Metodológicos para construir Ambientes de Aprendizaje en Sistemas Productivos Agropecuarios soportados en Dinámica de Sistemas. *Información Tecnológica* Vol. 26(4), 125-136.
- Hernández V. D., J. G. Herrera J., J Pérez P., y S. Vázquez A. 2006. Índice de sustentabilidad para el sistema bovino doble propósito en Guerrero, México. *Rev. Electr. Vet.* 9: 1-11.
- Hernández-Morales, P., J. G. Estrada-Flores, F. Avilés-Nova, G. Yong-Angel, F. López-González, A. D. Solís-Méndez, y O. A. Castelán-Ortega. 2013. Tipificación de los sistemas campesinos de producción de leche del sur del Estado de México. *Rev. Mex. Ciencias Pec.* 29:19-31.

- Holmann, F., P.C. Kerridge y C.E. Lascano. 1999. Sistemas mejorados de alimentación basados en leguminosas forrajeras para el ganado de doble propósito en fincas de pequeños productores de América Latina y Tropical. Informe de progreso 1999. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- ICA. 1980. Sector Agropecuario Colombiano: diagnóstico tecnológico. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Bogotá, Colombia. 45 pp.
- INEGI. 2015. Censo agrícola y ganadero 2009. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [www.inegi.mx. Julio de 2015].
- Koppel R. E. T., G. A. Ortiz O., A. Ávila D., J. Lagunes L., O. G. Castañeda M., I. López G., U. Aguilar B., H. Román P., J. A. Villagómez C., R. Aguilera S., J. Quirós V., R. C. Calderón R. 1999. Manejo de ganado bovino de doble propósito en el trópico. INIFAP. CIRGOC Libro Técnico Núm. 5. Veracruz, México. 158 pp.
- LACTODATA. 2016. Leche de vaca. Avances de producción, índices e indicadores. Boletín información sobre el sector lechero. 26 de abril de 2016. Consultado: 13 de mayo de 2016. Disponible en: <http://www.lactodata.info/boletin/produccion-de-leche-de-vaca/>. 6 pp.
- Lascano, C., F. Holmann., F. Romero., C. Hidalgo y P. Argel. 2001. Forrajes tropicales: recursos genéticos para mejorar los ingresos de productores de leche en sistemas doble propósito en el trópico seco. Memorias. XXIX Reunión Anual de la Asociación Mexicana de Producción Animal. UAT, AMPA, GT, UAMAC, VT, COTACYT, CONARGEN, CNM, IICA, SAGARPA. Cd. Victoria, Tamaulipas, México. p. 139-167.
- Machado, C.F. y Berger, H. 2012. Uso de modelos de simulación para asistir decisiones en sistemas de producción de carne. Revista Argentina de Producción Animal Vol.32 (1): 87-105.

- Magaña, J. G. 2000. Relación entre el perfil nutricional y niveles de producción de diferentes genotipos de bovinos de doble propósito en el sureste de México. Tesis Doctoral. Universidad de Colima, Colima, México.
- Magaña, J. G., y R. Delgado. 1998. Algunas observaciones sobre el comportamiento reproductivo de vacas Pardo Suizo en el trópico subhúmedo de México. *Rev. Biomédicas*. 9:197-203.
- Magaña, M.J.G., Ríos, A. G. y Martínez, G. J.C. 2006. Los sistemas de doble propósito y los desafíos en los climas tropicales de México. Universidad Autónoma de Yucatán, México.
- Maino, M. M., Pittet, D. J. y Kobrich, G. C. 1993. Programación Multicriterio: Un instrumento para el diseño de sistemas de producción. RIMISP. Santiago de Chile. 1-20.
- Mármol, J. F. 2006. Manejo de pastos y forrajes en la ganadería de doble propósito. X Seminario de Pastos y Forrajes. Universidad de Zulia, Venezuela, 1.
- Martínez G. J. C. 1992. Edad al primer parto e intervalos entre partos en ganado Pardo Suizo criado en trópico subhúmedo. *BIOTAM* 4:65-71.
- Martínez, G. J. C. 1995. Reproducción del ganado bovino de doble propósito en el trópico seco. Memoria. X Aniversario del Postgrado. Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Agronomía. Cd. Victoria, Tamaulipas. 79-83.
- Monforte, J. M., Arjona, G. R., & González, J. M. 2006. Los sistemas de doble propósito y los desafíos en los climas tropicales de México Dual purpose cattle production systems and the challenges of the tropics of Mexico. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 14(3), 105-114.
- Nahed, T. J., Palma, G. J. M., González, G. E. 2014. La adaptación tributo esencial en el fomento de sistemas agropecuarios resilientes ante perturbaciones. *Avances de la Investigación Agropecuaria*. 18 (3): 7-34.

- Nájera-Garduño, A de L., Riedel, J. L., Morales-Almaraz., Martínez-García, C. G., Rayas- Amor, A. A. y García-Martínez, A. 2015. Tendencias de la ganadería doble propósito en el sur del estado de México. Reunión Nacional de Investigación Pecuaria Memoria.
- Nicholson, C. 1998. Intensificación de sistemas de producción bovina en los trópicos Eds. L.Vaccaro y A. Pérez. En: El desarrollo de la producción de leche en América Latina tropical: su impacto social y ambiental. Arch Latinoam. Prod. Anim.6:1-18.
- Oltjen, W. J., Bywater, A. C., Balwin, R. L., Garret, W. N.1986. Development of a Dynamic Model of Beef Cattle Growth and Composition. Journal Animal Science. 62:86-97.
- Ortiz-Rodea, A. 2013. Evaluación de un sistema de producción de bovinos en Zacazonapan desde un enfoque silvopastoril. Tesis de Doctorado. Departamento de Producción Animal. Programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Centro Universitario UAEM Temascaltepec. Estado de México. 151 pp.
- Palma, J.M., 2005. Los árboles en la ganadería del trópico seco. Avances de la investigación Agropecuaria. Vol. 9. No. 001. Universidad de Colima, Colima, México.
- Parra, J.L., D.R. Pérez, D. Barajas, G.H. Onofre, J.H. Velázquez, O. Colmenares y J.E. González. 1998. Modelo de asistencia técnica integral pecuaria para pequeños y media- nos productores del sistema doble propósito en el piedemonte llanero. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.
- Pech M. V., F. Santos J., y P. Montes R. 2002. Función de producción de la ganadería de doble propósito en la zona oriente del estado de Yucatán, México. Téc. Pec. Méx. 40: 187-192.

- Rivas, L. 1992. El sistema ganadero de doble propósito en América Latina Tropical. Trabajo presentado en el Simposio Internacional sobre Alternativas y Estrategias en Producción Animal. Universidad Autónoma de Chapingo, México.
- Rodríguez, O. A., Berbel, V. J. y Ruíz, A. P. 1998. Metodología para el análisis de la toma de decisiones de los agricultores. MAPA, INIA. Madrid, España. 101: 11-157.
- Rojo-Rubio R., J. F. Vázquez-Armijo, P. Pérez-Hernández, G. D. Mendoza-Martínez, A. Z. M. Salem, B. Albarrán-Portillo, A. González-Reyna, J. Hernández-Martínez, S. Rebollar-Rebollar, D. Cardoso-Jiménez, E. J. Dorantes-Coronado, y J. G. Gutiérrez-Cedillo. 2009. Dual purpose cattle production in Mexico. Trop. Anim. Health Produc. 41: 715-721.
- Román, P. H. 1994. Características y transferencia de tecnología de los sistemas bovinos de doble propósito en el trópico. Memorias. XIV Congreso Panamericano de Ciencias Veterinarias. Excelencia en las Ciencias Veterinarias, FAO, OPS, OIE, IICA, OIRSA, SARH, CNMVZM, CONASA, AVM, FMVZ-UNAM, INIFAP y AMVZE. Acapulco, Gro., México. p. 238-239.
- Romero, C. 1993. La teoría de la decisión multicriterio, técnicas y aplicaciones. Alianza. Madrid, España. pp. 1-195.
- Ruiz, O., Oregui, L.M. 2001. El enfoque sistémico en el análisis de la producción animal: revisión bibliográfica. Invest. Agr. Prod. Sanid. Anim. Vol 16 (1).
- Saaty, T. L. 1997. Toma de decisiones para líderes. RWS Publicaciones. pp. 7-218.
- SAGARPA. Situación Actual y perspectivas de la producción de carne de bovino en México 2004. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/Dgg>. Consultado en agosto del 2017.

- Salas-Pérez, I. G., Arriaga-Jordán, C. M., García-Martínez, A., S. Rebollar-Rebollar., Rojo-Rubio, R., Albarrán-Portillo, B. 2015. Assessment of the sustainability of dual-purpose farms by the IDEA method in the subtropical area of central Mexico. *Tropical Animal Health and Production*. 47 (6): 1187-1194. ISSN: 0049-4747 (print version).
- Shamsuddin, M., W.J. Goodger, M. Hossein, S. Azizunnesa, T. Bennett, and K. A. Nordlund. 2006. Survey to identify economic opportunities for smallholder dairy farms in Bangladesh. *Trop. Anim. Health Prod.* 38: 131-140.
- SIAP-SAGARPA. 2016. Carne en canal de bovino. Comparativo del avance mensual de la producción pecuaria. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/ganaderia-avance-comparativo-por-producto/>. Consultado: 13 de mayo de 2016.
- Tedeschi, L. O., Fox, D. G., Guiroy, P. J., 2004. A decision support system to improve individual cattle management. 1. A mechanistic, dynamic model for animal growth. *Agricultural Systems*, 79, 171–204.
- Tewelde, A., J. C. Martínez G., E. Gutiérrez O. y J.G. Magaña. 2002. Utilización estratégica de los recursos genéticos para la intensificación de los sistemas de producción bovina de doble propósito. Memorias. IX Curso Internacional de Reproducción Bovina.
- Torres, B. I. 1993. Situación actual de la producción de leche en México. Memorias SIPLEP'93. FIRA-Gob. de Aguascalientes-Embajada de Nueva Zelandia, Aguascalientes, Ags. s/p.
- Turban, E. y Aronson, J. E. 2001. *Decision support systems and intelligent systems*. 6 ED. Printice Hall. 1-234.

- Vaccaro, L. 2000. Importancia de los bovinos de doble propósito en América Latina y perspectivas para su mejoramiento. En: Ed: J. Santos. Alternativas para la intensificación de sistemas ganaderos de doble propósito en el trópico. Memoria de conferencia internacional. Universidad Autónoma de Yucatán. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Mérida, México. 1-12.
- Vázquez, G. J. 1997. Ganadería tropical de México. Escuela de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UACH. p. 107.
- Vences-Pérez, J., Nájera-Garduño, A de L., Albarrán-Portillo, B., Arriaga-Jordán, C.M., Rebollar-Rebollar, S. y García-Martínez, A. 2015. Utilización del método IDEA para evaluar la sustentabilidad en unidades de producción de ganado bovino. En: David Iglesias Piña, Fermín Carreño Meléndez y Alan Noé Jim Carrillo Arteaga. Sustentabilidad productiva sectorial. Algunas evidencias de aplicación. Universidad Autónoma del Estado de México, México. 15-39.
- Vera. R.R y C. Sere 1985. Sistemas de producción pecuaria extensiva: Brasil, Colombia y Venezuela – proyecto ETES. Instituto de Producción Animal, Universidad técnica de Berlín, Sociedad Alemana de Cooperación Internacional (GTZ) y Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. Mayo
- Vilaboa, A. J., Díaz, R. P. 2009. Caracterización socioeconómica y tecnológica de los sistemas de ganaderos en siete municipios del estado de Veracruz, México. Zootecnia Trop. (4): 427-437.
- Villada, M. D. 2000. Construcción y utilización de un modelo estocástico para simulación de estrategias de manejo invernal en rebaños de vacas nodrizas. Tesis doctoral. Universidad de Lleida. Departamento de producción animal.
- Wadsworth, J. 1997. Análisis de sistemas de producción animal: las herramientas básicas. Estudio FAO. Producción y Sanidad Animal. 2: 1-140.