



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

**MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
RECURSOS NATURALES**

**ANÁLISIS DE LA DINÁMICA DE UNIDADES DE
PRODUCCIÓN DE GANADO BOVINO DE DOBLE
PROPOSITO EN TRÓPICO SECO, MEDIANTE MODELOS
DE SIMULACIÓN**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

PRESENTA:

EMMA GRISELDA MANZANARES LOPEZ

Temascaltepec de González, Estado de México. Junio de 2023.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

**MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
RECURSOS NATURALES**

**ANÁLISIS DE LA DINÁMICA DE UNIDADES DE
PRODUCCIÓN DE GANADO BOVINO DE DOBLE
PROPOSITO EN TRÓPICO SECO, MEDIANTE MODELOS
DE SIMULACIÓN**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

PRESENTA:

EMMA GRISELDA MANZANARES LOPEZ

COMITÉ DE TUTORES

Dr. Anastacio García Martínez. Director

Ph. D. Adolfo Armando Rayas Amor. Codirector

Ph. D. Carlos Galdino Martínez García. Tutor Adjunto

Temascaltepec de González, Estado de México. Junio de 2023.

RESÚMEN

El uso de modelos de simulación en la ganadería permite valorar la dinámica y la optimización y aprovechamiento de los recursos disponibles. Asimismo, favorecen los procesos de toma de decisiones y la gestión de unidades de producción (UP) de ganado de doble propósito (DP). El objetivo fue evaluar la dinámica de las UP de DP en trópico seco mediante modelos de simulación. Se monitorearon 213 UP; 50 corresponden al municipio de Tejupilco, 55 UP a Amatepec, 61 a Tlatlaya y 47 al municipio de Zacazonapan. Para parametrizar los modelos de simulación propuestos, a partir de programación lineal, se consideró como función objetivo, maximizar el Margen Bruto (MB) en las UP y como restricciones: tierra (disponibilidad máxima), trabajo (disponibilidad máxima de mano de obra), necesidades alimenticias del hato, dimensión y equilibrio del hato, superficies cultivadas y maquinaria disponible. Los resultados del modelo observado para el municipio de Tejupilco fue de un MB de \$29,815.4, con un ingreso total (IT) de \$80,777.00 y un costo total (CT) de \$50,961.5, con el manejo de 13 vacas en 23 ha (carga animal de 1.7 vacas/ha⁻¹), mientras que en el modelo de optimización, los resultados mostraron un MB de \$73,210.4, IT de \$158,843.00 y CT de \$85,632.4, considerando las mismas 13 vacas que se pastorean en solo 9 ha de pastizales (carga ganadera de 1.4 vacas/ha⁻¹). Para el caso Amatepec el modelo observado arrojó un MB de \$33,808.00, IT de \$65,557.00 y CT de \$31,749.00, con el manejo de 18 vacas en 59 ha. En el modelo esperado se observaron valores en el MB de \$101,343.00, IT de \$212,935.35 y CT de \$118,592.00, considerando 18 vacas que se pastorean en solo 21 ha de pastizales (carga ganadera de 1.4 vacas/ha⁻¹). En el modelo observado de Tlatlaya se obtuvo un MB de \$16,581.00, un IT de \$44,364.00 y CT de \$27,783.00, con el manejo de 23 vacas en 56 ha. El modelo optimizado, los resultados fueron de un MB de \$119,295.00, IT de \$258,800.00 y CT de \$139,505.00, considerando 21 vacas que se pastorean en solo 9.75 ha de pastizales (carga ganadera de 1.4 vacas/ha⁻¹). Finalmente, el modelo observado del municipio de Zacazonapan mostró un MB de \$88,810.00, IT de \$160,238.00 y CT de \$71,428.00, con el manejo de 25 vacas en 73 ha. Una vez que se ejecutó el modelo de optimización, los resultados mostraron un MB de \$1,011,850.00, IT de

\$1,173,540.00 y un CT de \$164,688.00, considerando 21 vacas que se pastorean en solo 21 ha de pastizales (carga ganadera de 1.4 vacas/ha⁻¹). Se concluyó que los modelos de simulación son útiles para la optimización de recursos en las UP y son herramientas apropiadas como apoyo en la toma de decisiones en sistemas de ganado bovino de doble propósito en trópico seco.

ABSTRACT

The use of simulation models in livestock allows to assess the dynamics and the optimization and available resources use. Its favor decision-making processes and the management of dual-purpose (DP) livestock production units (PU). The objective was to evaluate the dynamics of the PU of DP in the dry tropics through simulation models. 213 PU were monitored, of the 50 correspond to the municipality of Tejupilco, 55 PU to Amatepec, 61 PU to Tlatlaya and 47 PU to the municipality of Zacazonapan. To parameterize the simulation models proposed, based on linear programming, considering as an objective function, maximizing the Gross Margin (GM) in the PU and considering as restrictions: land (maximum availability), work (labor), herd nutritional needs, dimension and herd balance, cultivated areas and available machinery. The initial parameterization of the general model, a gross margin of \$29,815.4 was considered, with an income of \$80,777.00 and a total cost of \$50,961.5, with the management of 13 cows in 23 ha (stocking rate of 1.7 cows/ha⁻¹); once the optimization model was run, the results showed a gross margin of \$73,210.4, income of \$158,843.00 and total cost of \$85,632.4, considering the same 13 cows grazing on only 9 ha of pasture (stocking rate of 1.4 cows/ha⁻¹), for the model of the Municipality of Tejupilco; for the Amatepec case, a gross margin of \$33,808.00 was considered, with an income of \$65,557.00 and a total cost of \$31,749.00, with the management of 18 cows in 59 ha. Once the optimization model was run, the results showed a gross margin of \$101,343.00, revenue of \$212,935.35, and total cost of \$118,592.00, considering the same 18 cows grazing on only 21 ha of pasture (stocking rate of 1.4 cows/ha⁻¹). On the other hand, the municipality of Tlatlaya has the following: a gross margin of \$16,581.00, with an income of \$44,364.00 and a total cost of \$27,783.00, with the management of 23 cows in 56 ha. Once the optimization model was run, the results showed a gross margin of \$119,295.00, income of \$258,800.00 and total cost of \$139,505.00, considering 21 cows grazing on only 9.75 ha of pasture (stocking rate of 1.4 cows/ha⁻¹). Finally, the municipality of Zacazonapan with an observed gross margin of \$88,810.00, income of \$160,238.00 and a total cost of \$71,428.00, with the management of 25 cows in 73 ha. Once the optimization model was run, the results showed a gross margin of

\$1,011,850.00, income of \$1,173,540.00 and total cost of \$164,688.00, considering 21 cows grazing on only 21 ha of pasture (stocking rate of 1.4 cows/ha⁻¹). It was concluded that simulation models are useful for optimizing resources in PUs and are appropriate tools to support decision-making in dual-purpose cattle systems in the dry tropics.

CONTENIDO

RESÚMEN.....	i
ABSTRACT.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	v
CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	10
II. ANTECEDENTES.....	11
2.1. <i>Los modelos de simulación en sistemas agropecuarios</i>	11
2.2. <i>Modelos de simulación</i>	12
2.3. <i>Beneficio de los modelos de simulación</i>	12
2.4. <i>Tipos de modelos</i>	13
2.4.1. <i>Básico</i>	13
2.4.2. <i>Aplicado</i>	13
2.4.2.1. <i>Estáticos</i>	13
2.4.2.2. <i>Dinámicos</i>	13
2.4.2.3. <i>Mecanicista</i>	14
2.4.2.4. <i>Determinista</i>	14
2.5. <i>Programación lineal</i>	14
2.6. <i>Simulación</i>	15
2.7. <i>Programación multicriterio</i>	16
2.8. <i>Sistemas ganaderos en México</i>	17
2.8.1. <i>Sistema de producción intensivo</i>	18
2.8.2. <i>Sistemas de producción semi intensivo</i>	18
2.8.3. <i>Sistema de producción extensivo</i>	19
2.9. <i>Estrategias de alimentación de ganado bovino</i>	19
2.10. <i>Caracterización del ganado doble propósito en trópico seco</i>	20
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	25
IV. HIPOTESIS Y/O PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	26
V. JUSTIFICACIÓN.....	27

VI. OBJETIVOS	28
6.1. <i>General</i>	28
6.2. <i>Específicos</i>	28
VII. MATERIALES Y MÉTODOS	29
7.1. <i>Localización del área de estudio</i>	29
7.2. <i>Ejecución de los modelos de optimización</i>	30
7.3. <i>Parametrización de modelos de simulación</i>	32
7.4. <i>Análisis de Escenarios</i>	33
7.4.1. <i>Escenario 1 (Modelo general), “Optimización de los modelos”</i>	33
7.4.2. <i>Escenario 2, “Zacazonapan”</i>	34
7.4.3. <i>Escenario 3, “Amatepec”</i>	34
7.4.4. <i>Escenario 4, “Tlatlaya”</i>	34
7.4.5. <i>Escenario 5, “Tejupilco”</i>	35
7.5. <i>Análisis de sensibilidad</i>	35
VIII. RESULTADOS	38
8.1. <i>Artículo 1. Optimización de recursos en unidades de producción de ganado de doble propósito mediante modelos de simulación</i>	38
8.2. <i>Propuesta de Artículo 2. Análisis de la dinámica de unidades de producción de ganado bovino de doble propósito en trópico seco, mediante modelos de simulación</i>	39
8.2.1. <i>Características estructurales de las UP</i>	39
8.3. <i>Modelización de unidades de producción</i>	40
8.3.1. <i>Función objetivo</i>	40
8.3.2. <i>Variables de decisión</i>	41
8.3.3. <i>Estructura del hato</i>	43
8.3.4. <i>Mano de obra</i>	44
8.3.5 <i>Principales ingresos de las unidades de producción</i>	46
8.3.6. <i>Principales costos de la UP</i>	47
8.3.7. <i>Manejo y producción de forrajes</i>	48
IX. CONCLUSIONES.....	50
X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS (REVISTAS, ARTÍCULOS Y LIBROS) .	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Necesidades de mano de obra (datos observados).....	45
Figura 2. Mano de obra de las UP (datos analizados).	46

ÍNDICE DE TABLAS

Cuadro 1. Características estructurales de las UP para cada	40
Cuadro 2. Función objetivo de los modelos de simulación.....	42
Cuadro 3. Variable de decisión sobre superficie disponible	42
Cuadro 4. Estructura del hato modelado	44
Cuadro 5. Principales ingresos en la UP de acuerdo con el modelo de la	47
Cuadro 6. Principales costos de la UP	48

I. INTRODUCCIÓN

Los modelos de simulación constituyen herramientas que permiten la integración de información y procesos, permitiendo el estudio de sus interacciones, la evolución del impacto de modificaciones en el sistema de producción. Surgen de la aplicación industrial, procesos biológicos y agropecuarios, 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 (subsistema 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. ANTECEDENTES

2.1. Los modelos de simulación en sistemas agropecuarios

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).

A través del modelo puede ser posible evaluar ventajas comparativas a corto plazo de diferentes opciones tecnológicas disponibles (forrajes, suplementación, manejo animal), ya que permite documentar en forma rápida, integrada y racional, la respuesta biológica, los costos y beneficios, producto de las distintas decisiones técnicas que se tomen en una finca. 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 las 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).

2.2. 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).

Los modelos de simulación resultan 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 de simulación permite la experimentación con el sistema global. Una vez que el modelo se considera adecuado, los experimentos llamados simulaciones pueden ser realizados en sistemas reales.

2.3. Beneficio de los modelos de simulación

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.

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).

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

2.4. Tipos de modelos

2.4.1. Básico

Su objetivo principal es ampliar conocimientos y sus beneficios nos son cuantificables, excepto por evidencias históricas.

2.4.2. Aplicado

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

2.4.2.1. Estáticos

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

2.4.2.2. Dinámicos

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

2.4.2.3. *Mecanicista*

Aquel que representa los mecanismos subyacentes.

2.4.2.4. *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. Programación lineal

La programación lineal es una técnica de modelado (construcción de Modelos). Es una técnica matemática de optimización, es decir, un método que trata de maximizar o minimizar un objetivo.

Su interés principal es tomar decisiones óptimas de acuerdo con los recursos disponibles. Un problema de PL consta de una función objetivo (lineal) por maximizar o minimizar, sujeta a ciertas restricciones en la forma de igualdades o desigualdades.

Elementos básicos en programación lineal:

Función objetivo: la función por optimizar (maximizar o minimizar).

Restricciones: representan condiciones que es preciso satisfacer.

Sistema de Igualdades y desigualdades (\leq ó \geq)

De no negatividad: garantiza que ninguna variable de decisión sea negativa

Estructurales: reflejan factores como la limitación de recursos y otras condiciones que impone la situación del problema

Cuando un modelo se expresa en términos de dos variables puede resolverse con procedimientos gráficos tales como:

Conjunto factible: es el conjunto de puntos que integran la región de resolución.

Solución factible: cada punto que integra la región (plana) que resuelve el problema.

Solución óptima: constituye la solución al problema de programación lineal.

La finalidad de la solución gráfica es encontrar (entre todos los puntos del conjunto factible) el punto o los puntos que optimicen la función objetivo (Dantzig y Thapa, 2003).

Programación lineal multiobjetivo

Se denomina programación multiobjetivo a la optimización simultánea de varias funciones objetivo (FO) que en muchas ocasiones no es posible a una única función objetivo por lo tanto se tratan de manera conjunta.

Existen muchas aplicaciones en las que el proceso de modelización matemática conduce a un problema con varios objetivos que pueden ser total o parcialmente conflictivos, de manera que la mejora en cualquiera de ellos puede empeorar el valor de otros. La formulación general de la programación multiobjetivo con n variables de decisión x , m (restricciones) y p (objetivos): determinar x_1, \dots, x_n que maximicen a z ($z_1(x), \dots, z_p(x)$) sujeto a $x \in f$ (región factible del estado de soluciones)

La optimización juega un papel importante en la resolución de problemas con el único objetivo de determinar la solución óptima que debe ser factible siendo único tal valor. Sin embargo, en el caso de objetivos múltiples no es aplicable dicho concepto ya que una solución que maximice un objetivo en general no maximiza los restantes. Esto lleva a un nuevo concepto denominado solución o punto eficiente que en vez de buscar una solución óptima busca un conjunto de soluciones eficientes (Dantzig and Thapa, 2003).

2.6. Simulación

La simulación tiene como principal objetivo la predicción, es decir, puede mostrar lo que sucederá en un sistema real cuando se realicen determinados cambios bajo determinadas condiciones. La simulación se emplea sólo cuando no existe otra técnica que permita encarar la resolución de un problema. Siempre es preferible emplear una alternativa analítica antes que simular. Lo anterior no implica que una opción sea superior a otra, sino que los campos de acción no son los mismos. Mediante la simulación se han podido estudiar problemas y alcanzar soluciones que

de otra manera hubieran resultado inaccesibles (Barceló, 1999; Castelán-Ortega et al., 2003).

La simulación involucra dos facetas:

a) Construir el modelo

b) Ensayar diversas alternativas con el fin de elegir y adoptar la mejor en el sistema real.

La simulación permite adquirir una rápida experiencia a muy bajo costo y sin riesgos, identifica en un sistema complejo de aquellas áreas con problemas, generando un estudio sistemático de alternativas. No presenta límites en cuanto a complejidad, permitiendo que todo sistema pueda ser modelizado y sobre este modelo llevar a cabo ensayos para dar a conocer opciones. Puede ser aplicada para diseño de sistemas nuevos en los cuales se quieren comparar soluciones diversas surgidas de utilizar diferentes tecnologías y para probar modificaciones antes que estas se implementen (Howitt, 1995).

2.7. Programación multicriterio

El objetivo de la programación multicriterio es auxiliar al decisor a escoger la mejor alternativa entre un rango de alternativas en un entorno de criterios en competencia y conflicto; y los objetivos pueden ser económicos, ambientales, sociales, institucionales, técnicos y estéticos; cuando las decisiones implican alcanzar varios objetivos o criterios, ellas se denominan decisiones multiobjetivo (Pietersen, 2006).

La agregación de las distintas puntuaciones de los criterios.

Con el uso de algún procedimiento de agregación específica, tomando en cuenta la preferencia de los decisores expresada en término de pesos que se asignan a los diferentes criterios; ese procedimiento o técnica permite al decisor comparar entre las diferentes alternativas con base a los pesos asignados.

Las técnicas multiobjetivo se caracterizan por una gran diversidad metodológica y pueden agruparse en tres principales grupos de técnicas:

De ordenamiento o jerarquías: estas requieren de comparaciones pareadas o globales entre alternativas, y no son prácticas cuando el número de alternativas es grande.

De utilidad multi-atributo: estas se basan en modelos multiplicativos simples o aditivos para agregar o agrupar criterios simples

Técnicas de programación matemática: utilizan en un contexto continuo para identificar soluciones muy cercanas a la solución ideal introduciendo la medida de la distancia en unidades métricas (Tkach y Simonovic, 1997).

La programación lineal es un método matemático de resolución de problemas donde el objetivo es optimizar (maximizar o minimizar) un resultado a partir de seleccionar los valores de un conjunto de variables de decisión, respetando restricciones correspondientes a disponibilidad de recursos, especificaciones técnicas, u otras condicionantes que limiten la libertad de elección.

La programación lineal permite representar un sistema de producción mediante un modelo o matriz, donde se incluye:

Costos e ingresos generados por unidad de actividad (función objetivo).

Aportes y requerimientos de insumos y productos por unidad de cada actividad considerada (coeficientes insumo/producto).

Disponibilidad de recursos, especificaciones técnicas y empresariales a respetar (valores del lado derecho de las restricciones).

En términos generales podemos pensar en la programación lineal como un medio para determinar la mejor manera de distribuir una cantidad de recursos limitados en procura de lograr un objetivo expresable en maximizar o minimizar una determinada cantidad. El modelo general de un problema de programación lineal consta de dos partes muy importantes: la función objetivo y las restricciones.

2.8. Sistemas ganaderos en México

La ganadería es una actividad económica estratégica en zonas rurales, que permite acceso al capital y a los productos que genera (López *et al.*, 2001; Rojo Rubio *et al.*,

2009). Además, desempeña una función importante de cohesión económica, social y ambiental (Ayantunde *et al.*, 2011), a pesar del crecimiento acelerado de otras actividades económicas como el turismo y de una población rural con actividad agropecuaria cada vez más escasa (García-Martínez *et al.*, 2017).

La producción de ganado bovino se desarrolla bajo diferentes contextos agroclimáticos, tecnológicos y de manejo de ganado. Por ejemplo, los sistemas ganaderos para producción de carne que destacan son el intensivo en corrales de engorda que representa 21.5% y el extensivo (engorda en praderas y agostaderos) que representa 78.5%. En México, las zonas con clima tropical abarcan 27.7% del territorio y estas áreas juegan un papel importante en la producción de carne y leche (Magaña-Monforte *et al.*, 2006), ya que han cubierto el consumo per cápita de 16.7 kg durante 2006 (Gallardo, 2006). Sin embargo, las condiciones ambientales que prevalecen en estas zonas dificultan la producción animal (Vite *et al.*, 2007).

2.8.1. Sistema de producción intensivo

En este sistema los animales permanecen en confinamiento absoluto desde su nacimiento hasta la venta, que en condiciones normales se realiza a una edad aproximada de siete años. Requieren alimentación de alto nivel nutritivo como forraje de buena calidad fresco o conservado y alimentos concentrados en la dieta (FAO, 2009).

Caracterizado por contar con ganado especializado para la producción de leche, principalmente de las razas Holstein y en menor medida de las razas Pardo Suizo y Jersey, estos sistemas cuentan con tecnología altamente especializada, el manejo del ganado es predominantemente estabulado y la dieta se basa en forrajes de corte y alimentos balanceados. La ordeña es mecanizada y la producción se destina, principalmente, a plantas pasteurizadoras y transformadoras (SAGARPA, 2012).

2.8.2. Sistemas de producción semi intensivo

Aun cuando predominan las razas Holstein y Pardo Suizo, no se llega a los niveles de producción del sistema anterior. El ganado se mantiene en condiciones de semi-

estabulación que se desarrolla en pequeñas extensiones de terreno, la ordeña puede ser manual o mecanizada, en ordeñadoras individuales o pocas unidades, mantienen un nivel medio de tecnología y en ocasiones se cuentan con algunos sistemas de enfriamiento, aunque no es lo común (SAGARPA, 2012).

2.8.3. Sistema de producción extensivo

Son aquellos de pariciones en épocas en que la pradera es abundante, la concentración de pariciones puede ser una o dos veces en el año dependiendo de la región. Con lo cual se pueden lograr producciones relativamente estables durante todo el año. Los niveles de producción son más bajos que en los otros sistemas, ya que la alimentación se basa 100% en la pradera, con una adecuada fertilización y un buen manejo del pastoreo, pudiéndose lograr producciones competitivas. El confinamiento es ocasional, dependiendo del invierno, y muchas veces sólo ocurre de noche (FAO, 2009).

2.9. Estrategias de alimentación de ganado bovino

La región sur del Estado de México es eminentemente agrícola y ganadera, las unidades de producción tienen una amplia disponibilidad de tierra, sólo que no está en terrenos planos, sino presenta pendientes importantes, por lo cual es casi imposible el uso de la tierra para cultivos manejados con maquinaria; por lo tanto, la ganadería es la forma más eficiente de ocupar este recurso. El sistema de explotación del ganado es extensivo, durante la época de lluvias existe una amplia disponibilidad y diversidad de pastos, los cuales componen casi la totalidad de la dieta de los animales. Sin embargo, en la época de estiaje, la disponibilidad y calidad de estos disminuye de forma considerable, por eso los productores se ven en la necesidad de suplementar a sus animales, lo cual tiene un impacto en los ingresos de los productores en esta época. Además de los pastos existen otros recursos forrajeros como herbáceas, arbustos y árboles que son consumidos por los animales; empero, existe poco conocimiento sobre la diversidad de dichos recursos forrajeros y su potencial de uso para la alimentación de rumiantes en las diferentes épocas del año. De tal modo que el objetivo de este trabajo fue identificar,

documentar y determinar la composición química de aquellos recursos forrajeros utilizados a lo largo del año por los rumiantes. (Albarrán, Avilés y Rojo, 2018)

La producción de ganado en los trópicos seco y húmedo de México está en este esquema y se caracteriza por el aprovechamiento extensivo de pastos y pastizales (Macedo et al., 2003). Para esta actividad el Estado de México tiene 22 351 km² (1.1 % de la superficie nacional) y ocupa 37.4 % de su territorio (INEGI, 2015).

En épocas de sequía existe baja disponibilidad de forraje y hace necesaria la suplementación de los animales. La época de sequía se presenta entre los meses de enero a junio; meses en que los productores compran forraje principalmente pacas de maíz, sorgo y suplementos minerales (Chalate Molina *et al.* 2010). Los productores no cuentan con la superficie, infraestructura y capital necesario para producir y almacenar forraje y obliga a los ganaderos a acopiar forraje o adquirirlos (Sheen y Riesco 2002).

El manejo del ganado se da en forma extensiva, mediante confinamiento a corrales rústicos solo durante la noche; su alimentación se basa en pastoreo continuo, principalmente de pasto estrella (*Cynodon plectustachyous*), chontalpo (*Brachiaria decumbens*) y llanero (*Andropogon gayanus*) con un mínimo de complementos en alimentos balanceados, principalmente, en la época de secas y la ordeña es manual (Villamar y Olivera, 2005; Magaña *et al.*, 2006).

2.10. Caracterización del ganado doble propósito en trópico seco

La ganadería de doble propósito (DP) por su manejo y gestión, es una alternativa para la producción de carne y leche (Magaña *et al.*, 2006). Sin embargo, las unidades de producción (UP) son heterogéneas (García-Martínez *et al.*, 2011), lo cual hace complejo analizar su situación y estado actual, debido a que ganaderos de una misma región no producen en las mismas condiciones, efecto de diferentes objetivos y orientación de la producción y de factores sociales, económicos del medio en que se desarrollan. Bajo este enfoque, estudiar la heterogeneidad de las UP facilita su evaluación y análisis para ofrecer alternativas de desarrollo de la actividad y mejorar las condiciones de vida de la población rural involucrada. En

México la ganadería doble propósito (DP) resalta por su importancia en la producción de alimentos de origen animal: carne y leche (Magaña *et al.*, 2006). Además genera ingresos económicos para el manejo y gestión de las unidades de producción (UP) y bienestar de la población rural involucrada (García-Martínez *et al.*, 2008). Este tipo de ganadería se desarrolla en zonas tropicales y subtropicales que ocupan 25.9% del territorio nacional y presentan gran potencial para la cría de ganado, por los recursos naturales disponibles (suelo, agua y forrajes) (Magaña *et al.*, 2006). La ganadería DP se caracteriza por la presencia de UP con un manejo extensivo del ganado y de la superficie y, por la gestión tradicional realizada por el productor y la familia. El ganado proviene de cruces de ganado *Bos indicus* y *Bos taurus* (Albarrán *et al.*, 2015).

Los sistemas doble propósito en las regiones tropicales de México son destinados a producir carne y leche a bajo costo, así mismo en la zona tropical se estima aproximadamente el 78% de la población bovina, es gestionada bajo este sistema y aporta el 40% de la producción de leche (Rivas y Holmann, 2002).

Para el año 2021 en México se produjeron 314, 765 miles de litros (SIAP, 2021), para ello fue necesario la participación de los diferentes sistemas de producción bovina que incluyen a la lechería intensiva, la lechería familiar y la lechería tropical o doble propósito (Castro *et al.*, 2001). Cada uno de estos sistemas se distingue por su heterogeneidad productiva, tanto en las formas de producción como en los diversos tamaños de las unidades productivas; se produce leche tanto en el altiplano como en las zonas tropicales y áridas, bajo condiciones muy distintas (Espinosa *et al.*, 2007). La lechería intensiva y lechería familiar se desarrollan en las zonas templadas, áridas y semiáridas del territorio mexicano, manejando razas lecheras especializadas, mientras que el tercer sistema se lleva a cabo en el trópico con vacas cruzadas (Magaña *et al.*, 2006).

Los sistemas de producción de ganado doble propósito (DP) son, tradicionalmente, preferidos por familias productoras del trópico por bajos riesgos de cambios en precios, básicamente, en granos, mayores beneficios económicos por unidad de tierra que la producción de carne, y bajo capital de inversión y apoyos técnicos en

comparación con los requeridos por sistemas especializados de producción de leche; los sistemas DP son de tipo tradicionalistas orientados hacia la subsistencia de la economía campesina y subsisten cuando la producción agrícola no les favorece, pero utilizan parte de subproductos, por ejemplo, zacate de maíz molido, maíz molido con mazorca, ensilado de maíz en verde, totomoxtle seco, ensilado de pasto estrella; para abatir costos de producción (Holmann, 1989, citado por Yamamoto *et al.*, 2006; Casiano y Vargas, 2011).

Dentro de este sistema, predominan las razas Cebuinas y sus cruzas, en el cual el ganado sirve tanto para la producción de carne como para la producción de leche, las principales características por las cuales tienen, mayor, preferencia ante razas altamente productoras, es la tolerancia a altas temperaturas, características de climas tropicales, su adaptabilidad a su rusticidad y, además, son resistentes a garrapatas y a enfermedades causadas por estas (Yamamoto, 2006; Berman, 2011). Los sistemas DP son tradicionales, se adaptan a condiciones de familias dedicadas a la actividad, por bajos riesgos de cambios en precios; básicamente, en granos, mayores beneficios económicos por unidad de tierra que la producción de carne (Yamamoto *et al.*, 2007) bajo capital de inversión y apoyos técnicos en comparación con los requeridos por sistemas especializados de producción de leche (García *et al.*, 2007; Berman, 2011); utilizan parte de los subproductos para abatir costos de producción (Villamar y Olivera, 2005, Magaña *et al.*, 2006)

En la producción de carne y leche, entendida como doble propósito (Villamar y Olivera, 2005) predominan razas cebuinas y sus cruzas con ganado europeo (Suizo, Holstein y Simmental), caracterizados por su rusticidad: tolerables a altas temperaturas (sobre todo en climas tropicales), resistencia a garrapatas y enfermedades causadas por estas (Yamamoto *et al.*, 2007; Berman, 2011). El manejo del ganado se da en forma extensiva, mediante confinamiento a corrales rústicos solo durante la noche; su alimentación se basa en pastoreo continuo, principalmente de pasto estrella (*Cynodon plectustachyous*), chontalpo (*Brachiaria decumbens*) y llanero (*Andropogon gayanus*) con un mínimo de complementos en alimentos balanceados, principalmente, en la época de secas y la ordeña es manual (Villamar y Olivera, 2005; Magaña *et al.*, 2006).

La ganadería doble propósito en condiciones de trópico seco en el sur del Estado de México presenta un notable índice de dinamismo en su estructura, manejo y gestión.

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.*, 2008).

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).

1. El ganado solo depende de los forrajes que producen las praderas permanentes de tipo tropical.
2. Las inversiones de capital y mano de obra son mayores por unidad de superficie o cabeza de ganado.
3. Estacionalidad más flexible en monta y partos.
4. Venta de novillos.
5. La ordeña se hace con el apoyo del ternero y se separa de la madre entre 8 y 14 horas diarias.
6. Lactancias cortas dictadas por la sequía (producción estacional).
7. Cría de hembras y machos por igual.
8. Ventas diarias de leche y estacional de novillos y vacas, según su estado de gordura y precio de mercado
9. Sistema más elástico y menos vulnerable a trastornos económicos cuando falta mercado de novillos.

Por lo anterior, la ganadería es la actividad económica de mayor importancia (Rojo-Rubio *et al.*, 2009) y en zonas tropicales presenta las características particulares del sistema doble propósito, DP (Hernández *et al.*, 2006): limitada por la topografía accidentada de su territorio en el país (Rojo-Rubio *et al.*, 2009) y en el estado (Hernández-Morales *et al.*, 2013), producción estacional en función de la

disponibilidad de forrajes para el ganado (Bellido *et al.*, 2001) y deficiente conexión con los mercados potenciales para la distribución de carne y leche y sus derivados (Pech *et al.*, 2002; Zorrilla y Palma, 2010; Rebollar *et al.*, 2011). A pesar de ello, se ha mantenido por el

aprovechamiento eficiente de los recursos y por adaptación del ganado a estas condiciones (Rojo-Rubio *et al.*, 2009), aunque la actividad se caracteriza por una baja productividad (Bellido *et al.*, 2001; Vilaboa-Arroniz *et al.*, 2009).

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los modelos de simulación permiten el manejo y gestión de sistemas productivos y son útiles por su bajo costo cuando no se cuenta con recursos económicos para coleccionar información en campo. Asimismo, son considerados herramientas potentes como apoyo en la toma de decisiones, para la gestión y para la optimización en el uso de recursos disponibles en la propia UP con ganado doble propósito en trópico seco. La construcción de modelos de simulación constituye una herramienta que permite representar el funcionamiento de las UP y analizar, en términos de multifuncionalidad bajo diferentes escenarios, las consecuencias de la puesta en práctica de estrategias de manejo, adaptadas a la diversidad de ganaderos y, de la consecución de un conjunto de objetivos que les permitan cumplir las funciones de la UP y alcanzar los parámetros de producción establecidos.

Por otro lado, los modelos permitirían poner en evidencia las limitaciones de los diferentes tipos de UP y señalar eventualmente posibles contradicciones entre los objetivos de estas y los objetivos colectivos.

La implementación de estos sistemas para el apoyo a la toma de decisiones hoy en día ha tenido un impacto importante para las organizaciones que tienen la necesidad de simular distintos escenarios, con la finalidad de evaluar las diferentes situaciones que podría generar tal escenario y, por lo tanto, evaluar la sostenibilidad social, ambiental y económica de los sistemas productivos rurales.

IV. HIPOTESIS Y/O PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

El uso de modelos de simulación favorece los procesos de toma de decisiones y optimizar el uso y aprovechamiento de los recursos disponibles en unidades de producción (UP) de ganado bovino de doble propósito (DP) en trópico seco, bajo diferentes escenarios de manejo.

V. 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 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 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 obtenidos 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, debido principalmente al elevado costo que supone el planteamiento de este tipo de acercamientos.

En función de lo anterior, la utilización de modelos de simulación y optimización 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. También favorecen el uso óptimo de los recursos disponibles, el cuidado del medio socioeconómico en el que se desarrollan y, por tanto, el proceso de toma de decisiones, que se ajustan a las necesidades particulares de diversos tipos de estrategias de producción y de UP para pronosticar el futuro de la actividad.

VI. OBJETIVOS

6.1. General

Desarrollar modelos de simulación y escenarios de optimización y aprovechamiento de recursos y generar herramientas de apoyo en la toma de decisiones para la gestión y desarrollo de UP de DP en trópico seco.

6.2. Específicos

Caracterizar unidades de producción de ganado bovino de doble propósito en trópico seco.

Parametrizar y generar modelos de simulación para el uso óptimo de los recursos disponibles y mejorar los procesos de producción en UP de DP.

Validar los modelos de simulación para favorecer los procesos de toma de decisiones y las tendencias de desarrollo de las UP de DP.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1. Localización del área de estudio

El trabajo se realizó en los municipios de Tlatlaya, Tejupilco, Amatepec, Zacazonapan localizados en el sur del estado de México.

AMATEPEC

Municipio de Amatepec, localizado al suroeste del Estado de México entre 18° 40' 58" N y 100° 11' 11" O; clima templado subhúmedo Cw con lluvias en verano, temperatura promedio 18 °C y precipitación anual entre 1300 y 1500 mm (INEGI, 2014). La ganadería es semi-extensiva y extensiva con orientación al DP (SAGARPA, 2014). Es la principal actividad económica y se desarrolla en 80.0 % del municipio (INEGI, 2014).

TEJUPILCO

Tejupilco, ubicado al sur poniente del Estado de México, entre 18° 45' 30" y 19° 04' 32" N y 100° 36' 45" O; la temperatura y precipitación promedio anual, varía entre 24 y 27 °C y entre 800 y 1,200 mm, que lo ubican dentro de climas cálidos subhúmedos con lluvias en verano (Cardoso, 1997).

TLATLAYA

El municipio de Tlatlaya, se localiza al suroeste del Estado, entre las coordenadas geográficas de longitud mínima 100° 04' 07" y máxima 100° 26' 47" y de latitud mínima 18° 21' 57" y máxima 18° 40' 37". Forma parte de la Región XII. Tejupilco, junto con Luvianos, Amatepec y Tejupilco, municipios con los cuales mantiene una dinámica relación física y funcional. Su extensión territorial es de 798.92 km², que representan 3.55% del territorio estatal, y el 29.04% de la región en la que se encuentra inmersa, situación que lo coloca como el municipio más grande del estado (Plan de Desarrollo Estructural Municipal, 2019-2021).

ZACAZONAPAN

Se encuentra, entre los paralelos 19°00'17" y 19°16'17" N; del meridiano 100°12'55" al meridiano 100°18'13" O. Se ubica a una altura media de 1,470 metros sobre el nivel del mar. El territorio municipal tiene una extensión de 67.14 km² que representan el 0.30% de la superficie estatal. El clima predominante es el cálido, subhúmedo con humedad moderada. La temperatura media anual es de 23°C, la máxima anual de 31°C y la mínima anual de 15°C. La precipitación es de 1,800 mm, presentándose vientos en mayo, esporádicamente en agosto y septiembre (Arroyo, 1999).

7.2. Ejecución de los modelos de optimización

Para la estructura de los modelos de simulación se utilizó el software X-Press MP, estructurado por un conjunto de modelos matemáticos de optimización y herramientas de programación lineal, no lineal, cuadrática y estocástica. Xpress-MP resuelve problemas de optimización de gran escala y permite mejores decisiones en sistemas productivos desde la gestión, suministro, operaciones, hasta maximizar los ingresos generados de estas actividades económicas.

El Xpress-MP, está constituido por:

Xpress-Mosel: es la base para la construcción del modelo de optimización. La estructura del problema es una breve y concisa anotación de las indicaciones para la ejecución del este.

Xpress-Optimizador: es la interfaz que ejecuta el modelo de optimización.

Xpress-IVE, es la interfaz gráfica en la que se visualizan de manera gráfica los resultados de la ejecución del modelo de optimización (FICO, 2018).

La funcionalidad de Xpress-MP se distribuye en varios módulos:

Creador o constructor de modelos: facilita una sintaxis adecuada para la introducción de las características del problema (en forma de fichero) y crea a partir

de la descripción así realizada un modelo adecuado para su procesamiento por parte del módulo de optimización.

- Optimizador Simplex: proporciona funcionalidad de optimización de problemas de programación lineal mediante dos variantes de este algoritmo (dual y primal).
- Optimizador IP: proporciona funcionalidad de optimización de problemas de programación lineal con distintos algoritmos (basados en árboles de búsqueda) para la búsqueda de soluciones discretas (con valores enteros) a dichos problemas.
- Optimizador Newton Barrier: proporciona funcionalidad de optimización de problemas de programación lineal mediante la utilización de este algoritmo.
- Optimizador IP paralelo: proporciona la capacidad de poder utilizar varias máquinas en paralelo para la resolución de problemas discretos de grandes dimensiones. Esta funcionalidad sólo es accesible mediante consolas Xpress.

Módulo de conectividad ODBC: proporciona la funcionalidad necesaria para importar y exportar datos entre Xpress-MP y bases de datos, hojas de cálculo, etc., utilizando la interfaz ODBC.

Xpress es quizás la más desafiante intelectualmente parte práctica de programación matemática. Pero una vez de haber desarrollado un modelo algebraico de la situación que se enfrentan a decidir cómo aplicar el modelo dentro de algunos grandes sistemas informáticos. Las principales consideraciones que se tienen son, por lo general y en ningún orden particular

- verificar el modelo de corrección
- facilidad de mantenimiento y modificación modelo
- consideraciones algorítmicas
- el acceso a los datos y la manipulación
- modelo de velocidad de ejecución

- velocidad al mercado

7.3. Parametrización de modelos de simulación

Se utilizó información sobre estructura del hato, superficies, maquinaria, equipo, mano de obra obtenida de la información recolectada en los seguimientos técnico-económicos previos de UP de cuatro municipios del sur del estado de México, para parametrizar los modelos mediante programación lineal, para encontrar las combinaciones de manejo y gestión óptimas en función del modelo descrito por García-Martínez *et al.* (2011)

Se optimizó 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 denota 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 denotó el número de recursos y, b_i la cantidad disponible del i -ésimo recurso o sus necesidades.

De forma matricial la formulación del problema fue 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

c: es el vector de precios o costos unitarios

Finalmente, se formuló el modelo matemático general que presentará la estructura estándar de un modelo de Programación Lineal (PL). La función objetivo del modelo expresa el Margen Bruto (MB) de las UP. La solución óptima del modelo se obtuvo maximizando la función económica de acuerdo con la siguiente fórmula general propuesta por García-Martínez (2008).

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

7.4. Análisis de Escenarios

Los cinco modelos de PL, corresponden a cinco escenarios socio-económicos o hipótesis que se describen a continuación:

7.4.1. Escenario 1 (Modelo general), “Optimización de los modelos”

Como punto de partida, se generó el modelo de optimización general a partir de la información generada de los sistemas de doble propósito, característicos de la zona sur de estado de México en condiciones de trópico seco. Este modelo, se constituye el escenario 1 (E1 Optimización). Estos modelos corresponden a la optimización en función de una serie de parámetros previamente establecidos y que se relacionan con las características medias de los grupos de UP estudiadas. Para establecer estos parámetros se consideró información relevante de las condiciones estructurales de las UP y las relaciones con el entorno socioeconómico existente en el momento de la recolección de información. De esta forma, los modelos se ajustaron para que la diferencia entre los resultados obtenidos y los grupos establecidos de los sistemas de ganado bovino de doble propósito observados sea la mínima posible (5% de variación), lo que constituye una primera aproximación a la validación de dichos modelos.

7.4.2. Escenario 2, “Zacazonapan”

Este escenario planteó que el sistema de producción de Zacazonapan se orienta a la producción diaria de leche durante un periodo de 270 días (Albarrán-Portillo *et al.*, 2009) y la venta líquida representa 34.4% de los ingresos totales. Asimismo, aproximadamente 50% de la producción de leche se destina a la producción de queso fresco o semi-maduro. Esta venta mantiene la actividad por la erogación de efectivo diario, mientras que la venta de carne estacional es la principal fuente de ingresos. En función de lo anterior, se modificaron los modelos establecidos de tal forma que no se fijará el porcentaje de terneros comercializados como destetados o engordados, ni se limitará la comercialización de leche, es decir se deja elegir al modelo de PL el tipo de producto, que constituye una variable de decisión.

7.4.3. Escenario 3, “Amatepec”

El sistema se caracteriza por la presencia de ganado bovino de doble propósito con orientación a la producción de carne en condiciones de manejo extensivo, así como la presencia de razas Bos Taurus especializadas (Hernández-Dimas *et al.*, 2010). La producción de leche para venta ha disminuido considerablemente e incluso ha desaparecido en algunas UP, dadas las difíciles condiciones de producción (García-Martínez *et al.*, 2009). En este escenario, también se modificaron los modelos establecidos de tal forma que no se fijará el porcentaje de terneros comercializados como destetados o engordados, ni se limitará la comercialización de leche. Es decir, se deja elegir al modelo de PL el tipo de producto, que constituye una variable de decisión.

7.4.4. Escenario 4, “Tlatlaya”

En este escenario se planteó la hipótesis en la que el sistema de producción se caracteriza por que el ingreso por año (+70%), proviene principalmente de la venta de carne, actividad a la que se destinan 42,183 ha de superficie (Hernández-Dimas, 2016), bajo un sistema de manejo extensivo de ganado doble propósito, con ganaderos que garantizan la continuidad en la UP (García-Martínez *et al.*, 2017).

No se fijará el porcentaje de terneros comercializados como destetados o engordados, ni se limitará la comercialización de leche. Es decir, se deja elegir al modelo de PL el tipo de producto, que constituye una variable de decisión.

7.4.5. Escenario 5, “Tejupilco”

En este escenario se formuló que el 90.0% de las UP mantienen un sistema de manejo extensivo, el resto bajo un sistema de manejo intensivo. La orientación de las UP es la producción de terneros para abasto y machos engordados. Esta actividad es la que mayor ingreso genera (61.0%), mientras que la venta de leche o subproductos genera 39% del IT (Hernández *et al.*, 2008) y es un ingreso importante en su economía.

7.5. Análisis de sensibilidad

El Análisis de Sensibilidad (AS) es un componente metodológico fundamental en la modelización mediante PL ya que sólo en ocasiones se conocen los parámetros del modelo con exactitud. Este análisis consiste básicamente en examinar los efectos ocasionados por la variación de los valores de los parámetros del problema sobre la solución óptima del modelo, es decir permite conocer la sensibilidad de la solución a la variación de los parámetros originales. Además, la solución genera una gran cantidad de información, ya que todo problema de PL tiene asociado un problema dual que proporciona información sobre los costos de oportunidad o precios sombra de los recursos, así como los costos de sustitución (García-Martínez, 2008; Castillo *et al.*, 2002).

En el AS deben considerarse aquellos parámetros para los que la solución es muy sensible y no son conocidos con certeza. Por lo anterior, en los modelos establecidos se realizará un AS considerando cambios en los precios de los concentrados comerciales, de los terneros y machos engordados y de la leche y queso.

Sobre el escenario 1, se evaluarán cinco supuestos o hipótesis que se refieren a:

- i) Incremento en el precio de los concentrados
- ii) Disminución del precio de la carne
- iii) Disminución del precio de la leche y derivados
- iv) Simultáneamente, incremento del precio de los concentrados y disminución del precio de la carne (pie y canal).
- v) Simultáneamente, incremento del precio de los concentrados y disminución del precio de la leche y derivados.

Debido al incremento del uso de cereales para la elaboración de biocombustibles y la mayor demanda para consumo humano en mercados internacionales se ha producido un aumento del precio de los cereales, que repercute en el costo del concentrado utilizado en la alimentación de los terneros y animales en engorda y de vacas lecheras. Por ello, a partir del costo de referencia de 2020 de \$5.22 el kg del concentrado, se realizará un análisis de sensibilidad de la siguiente manera:

1. AS1, incremento del 35% del costo de los concentrados comerciales.

Por otra parte, se realizarán dos AS suponiendo una reducción del precio de la carne de becerro. A partir del precio de referencia de 2020, de \$65.03 kg canal de terneros engordados y de \$5.5 por L de leche, se ha supuesto lo siguiente:

2. AS2, disminución del 20% del precio de la carne en canal.

3. AS3, disminución del 20% del precio de la leche.

Finalmente se realizarán dos AS aumentando el precio de los concentrados y disminuyendo el precio del ternero destetado y de la leche simultáneamente. Puesto no tienen precio de mercado establecido y puede fluctuar considerablemente, a partir del precio considerado para los terneros destetados (\$52 kg/macho y \$45 kg/hembra) y de \$5.5 por L de leche, se considera lo siguiente:

4. AS4, disminución del 20% del precio del ternero destetado e incremento del 35% del costo del concentrado.

5. AS5, disminución del 20% del precio de la leche e incremento del 35% del costo del concentrado.

VIII. RESULTADOS

8.1. Artículo 1. Optimización de recursos en unidades de producción de ganado de doble propósito mediante modelos de simulación.

8/6/23, 10:34

Correo: Anastacio Garcia Martinez - Outlook

[TSA] Envío recibido

Carlos A. SANDOVAL-CASTRO <revistaccba_boletines@correo.uady.mx>

Jue 18/05/2023 13:43

Para: Anastacio Garcia Martinez <agarciam@uaemex.mx>

Tropical and Subtropical Agroecosystems

ANASTACIO GARCÍA MARTÍNEZ:

Gracias por enviarnos su manuscrito "OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS EN UNIDADES DE PRODUCCIÓN DE GANADO DE DOBLE PROPÓSITO MEDIANTE MODELOS DE SIMULACIÓN" a Tropical and Subtropical Agroecosystems. Gracias al sistema de gestión de revistas online que usamos podrá seguir su progreso a través del proceso editorial identificándose en el sitio web de la revista:

URL del manuscrito:

<https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/author/submission/4962>

Nombre de usuario/o: agm

Si tiene cualquier pregunta no dude en contactar con nosotros/as. Gracias por tener en cuenta esta revista para difundir su trabajo.

Carlos A. SANDOVAL-CASTRO

Tropical and Subtropical Agroecosystems

Tropical and Subtropical Agroecosystems

<http://www.veterinaria.uady.mx/ojs/index.php/TSA>

8.2. Propuesta de Artículo 2. Análisis de la dinámica de unidades de producción de ganado bovino de doble propósito en trópico seco, mediante modelos de simulación.

8.2.1. Características estructurales de las UP

Las características estructurales de las UP se muestran en Cuadro 1. Se observa que los ganaderos presentan la mayoría de edad, así mismo la antigüedad de la UP. El nivel educativo es bajo, relacionado con estudios primarios, por lo que estudios realizados por Baldock et al. (1996) y García-Martínez et al. (2011), han destacado que el bajo nivel educativo de los productores y la edad avanzada son factores limitantes que pueden amenazar la continuidad de la ganadería y el desarrollo de la UP. El tamaño de la familia ronda los cinco integrantes, que de acuerdo con Nájera-Garduño et al. (2016), es el tamaño promedio en este tipo de UP. Con relación a la mano de obra se observa una baja disponibilidad, principalmente mano de obra familiar, aunque se hace uso de mano de obra contratada, representa un bajo porcentaje, similar a los resultados de García-Martínez *et al.* (2015). La disponibilidad de superficie, entre los cuatro municipios oscila entre los 40 y 70 ha, de las cuales más de 90% son superficies destinadas al cultivo de forrajes, destacando principalmente pastos naturales o pastizales. Por otro lado, los cultivos agrícolas son menos importantes y se limita al cultivo de maíz principalmente, que complementa la alimentación del ganado, como lo ha indicado Vences-Pérez *et al.* (2017). En relación con el tamaño del hato, se consideró de tamaño medio (Piedra-Matías *et al.*, 2011), formado principalmente por vacas (80% del total del hato), con orientación al doble propósito.

IX. CONCLUSIONES

La caracterización de las UP de doble propósito en trópico seco, evidenció una gran diversidad de UP y fue fundamental para la parametrización de los modelos de simulación con información obtenida directamente del sistema de producción de ganado bovino y con ello, la optimización de recursos fue un reflejo del manejo actual del ganado y mostró las tendencias de desarrollo de estas UP (leche, carne y mixto). Bajo este enfoque, los modelos de simulación son una herramienta de apoyo en los procesos de toma de decisiones, que mejoran las condiciones de las UP y proporcionan una visión adecuada para el aprovechamiento de los recursos e insumos producidos en estas. Asimismo, de los cuatro sitios de estudio modelados, Zacazonapan es el municipio con mayores ingresos, debido a la mayor producción y venta de leche y sus derivados. Por otro lado, los municipios con tendencia a la producción de carne (Tlatlaya y Amatepec), son los que menor margen bruto percibieron y Tejupilco, fue el municipio con un margen bruto medio. Lo que indica que el manejo del ganado, juega un importante papel en esta actividad, así como los recursos disponibles y la orientación de la producción. Finalmente y no obstante que los modelos de simulación son una representación abstracta de lo real, permiten analizar el estado actual y las tendencias de desarrollo de las UP, así como la dinámica a corto y mediano plazo, en función de los insumos disponibles para producir carne o leche.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS (REVISTAS, ARTÍCULOS Y LIBROS)

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., Salas-Reyes, I. G., Esparza-Jiménez, S., Hernández-Martínez, J., Rebollar, R. S. y García-Martínez, A. (2009). "Caracterización Socioeconómica de un sistema de producción de doble propósito en el sur del Estado de México", en Beatriz A. Cavallotti Vázquez, Carlos F. Marcof Álvarez, Benito Ramírez Valverde (coords.), *Ganadería y Seguridad Alimentaria en Tiempo de Crisis*, Universidad Autónoma Chapingo, pp. 179-190.

Albarrán, P. B., Salas, R. I. G., Esparza, J. S., Hernández, M. J., Rebollar, R. S. y García, M. A. 2009. Caracterización socioeconómica de un sistema producción de doble propósito del sur del Estado de México. Cavalloti, V. B. A., Marcof, A. C. F. y Ramírez, V. B. *Ganadería y seguridad alimentaria en tiempos de crisis*. Universidad Autónoma Chapingo. México.

Albarrán-Portillo, B., Rebollar-Rebollar, S., García-Martínez, A., Rojo-Rubio, R., Avilés-Nova, F., Arriaga-Jordán, C.M. 2015. Socioeconomic and productive characterization of dual-purpose farms oriented to milk production in a subtropical region of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*. 47: 519-523.

Albarrán-Portillo B., Avilés Nova F., Rojo Rubio R. 2018. Caracterización nutricional de recursos forrajeros en el sur del estado de México. En: *la ganadería en condiciones de trópico seco*. pp.185.

- Arroyo, P. E. J. L. 1999. Zacazonapan. Monografía municipal. Instituto Mexiquense de la Cultura
- Ayantunde, A. A., de Leeuw, J., Turner, M. D. y Said, M. 2011. Challenges of assessing the sustainability of (agro)-pastoral systems. *Livest. Sci.* 139: 30-43.
- Baldock, D., Beaufoy, G., Brouwer, F. y Godeschalk, F. 1996. Farming at the margins: Abandonment or Redeployment of Agricultural Land in Europe. Institute for European Environmental Policy Agricultural Economics Research Institute, London/The Hague. 202 pp.
- Barceló, J., 1999. Simulación de sistemas discretos. Isdefe, Madrid, España. 247 pp.
- Bellido, M. M., Escribano, S. M., Mesías, D. F. J. Rodríguez, L. A. y Pulido, G. F. 2001. Sistemas extensivos de producción animal. *Arch. Zootec.* 50: 465-489.
- Blake, R. W. y Nicholson, C. 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.
- Cabanes, M. F. 2000. La empresa agraria, su planificación mediante programación matemática. IMAGRAF. Andalucía, España. 473 pp.
- Campos, G. L.; Ortiz, M. A.; Galina, M. A. y Pineda, L. J. 2008. Parámetros reproductivos y productivos en bovinos de doble propósito bajo un sistema de silvopastoril o tradicional de sólo pastoreo. Memorias. IV Reunión Nacional sobre SISTEMAS AGRO SILVOPASTORILES. 12-16 mayo. Colima México. p. 36-41.
- Cardoso, S. A. 1997. Tejupilco. Monografía Municipal. Toluca, Estado de México, México: Instituto Mexiquense de Cultura.

Casasús, I., Sanz, A., Villalba, D., Ferrer, R. y Revilla, R. (1998). Efecto de la época de parto sobre los rendimientos en pastoreo de vacas de raza Parda Alpina. ITA. Producción Animal, Vol. Extra 20: 568-570.

Casiano, V. M. A. y Vargas, L. S. 2011. La ganadería familiar en la montaña de Guerrero. Pp. 265-275. En: Cavalloti, V. B. A., Ramírez, V. B., Martínez, C. F. E., Marcof, A. C. F., Cesín, V. A. 2011. En: La ganadería ante el agotamiento de los paradigmas dominantes. Vol. I. Primera Edición. Universidad Autónoma Chapingo. 477 p

Castelán-Ortega, O. A, Fawcett, R. H., Arriaga-Jordán, C. M. Herrero, M. 2003. Un sistema de soporte de decisiones para los sistemas de pequeños productores campesinos de maíz y la producción ganadera del Valle de Toluca, en el centro de México. Parte I-La integración de modelos biológicos y socio-económicos en un sistema holístico.

Castro G. H., Tewolde A., Nahed J., 2001. Analysis of dual purpose cattle production systems in Chiapas, Mexico. Latinoam. Produccion Animal. 10 (3): 175-183.

Chalate-Molina H, Gallardo-López F, Pérez-Hernández P, Lang-Ovalle FP, Ortega-Jiménez E, Vilaboa AJ., 2010. Características del sistema de producción bovinos de doble propósito en el estado de Morelos. México. Zootecnia tropical 28 (3): 329-339.

Dantzig, G.B., Thapa, M.N., 2003. Linear Programming 2: theory and extensions. Springer-Verlag, New York, USA

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.

- France. J. Thornley JHM., 1984 Role of mathematical models in agriculture and agricultural research. En *Mathematical Models in Agriculture*. Butterworth. Londres, RU. pp. 1- 14.
- FAO. 2009. *Sistemas de producción de bovinos en México*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, por sus siglas en español. Consulta: marzo de 2021.
- Gallardo, N. J. L. 2006. Situación actual y perspectiva de la producción de carne de bovino en México, México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 48 pp. (<http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/SAGARP A/PerspectivaCarneBovino2006.pdf>. Agosto de 2010).
- 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.
- García-Martínez A, A. Olaizola, and A. Bernués. 2008. Trajectories of evolution and drivers of change in European mountain cattle farming systems. *Animal* 3: 152-165.
- García-Martínez, A., 2008a. *Dinámica resiente de los sistemas de vacuno en el Pirineo Central y evaluación de sus posibilidades de adaptación al entorno socio-económico*. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza, España. 273 p.
- García-Martínez, A., Olaizola, A.S. y Bernués, A. 2009. "Trajectories of evolution and drivers of change in European mountain cattle farming systems". *Animal*, 3 (1): 152-165.
- 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, M. J. G. 2007. Variables relacionadas con la producción de leche de ganado Holstein en agroempresas familiares con diferente nivel tecnológico. *Interciencia*, 32(12): 841-846.
- Gibon, A., G. Balent, D. Alard, J. Muntane, Y. Raich, S. Ladet, A. Mottet, et M. P. Lulien. 2004. L'usage de l'espace par les exploitations d'élevage de montagne et la gestion de la biodiversité. *Fourrages* 178: 245-263.
- 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., Herrera, J. J. G., Pérez, P. J. y Vázquez, A. S. 2006. Índice de sustentabilidad para el sistema bovino doble propósito en Guerrero, México. *Rev. Electr. Vet.* 9: 1-11.
- Hernández, M. P. (2008). "Tipificación de los sistemas campesinos de producción de leche en el sur del Estado de México", Tesis de Maestría, Universidad Autónoma del Estado de México, 65 pp.
- Hernández-Dimas, G. 2010. "Tipificación de los sistemas de ganado bovino en el municipio de Tlatlaya, Estado de México", Tesis de Licenciatura, Centro Universitario UAEM Temascaltepec, Universidad Autónoma del Estado de México, 63 pp.
- Hernández-Morales, P., Estrada-Flores, J. G., Avilés-Nova, F. Yong-Ángel, G. López-González, F., Solís-Méndez, A. D. y Castelán-Ortega, O. A. 2013. Tipificación de los sistemas campesinos de producción de leche del sur del estado de México. *Rev. Mex. Ciencias Pec.* 29: 19-31.
- Howitt, R., 1995. Positive Mathematics Programming. *American Journal of Agricultural Economics*, 329-342.

- Hollmann, M. A., O'Shea-Greenfield, S.W. Rogers, and S. Heinemann (1989). Cloning by functional expression of a member of the glutamate receptor family. *Nature*. 342 (6250): 643-648.
- INEGI. 2014. Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/agro/default.aspx>. Consultado: junio de 2021.
- Laurent, C., Maxime, F., Mazé, A., Tichit, M., 2003. Multifunctionality of agriculture and farm models. *Economie Rurale*, 134-152.
- 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.
- Magaña, J.G., Ríos, A.G., Martínez, G.J.C., 2006. Dual purpose cattle production systems and the challenges of the tropics of Mexico. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 14: 26–28.
- 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.
- 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: 187-1992.
- PDM. 2021. Delimitación y estructura territorial del Municipio 2019-2021. Plan de Desarrollo Municipal Gobierno del estado de México, 58- 59.
- Peterson, A. T., E. Martínez-Meyer, J. Servin, and L. F. Kiff. 2006a. Ecological niche modelling and strategizing for species reintroductions. *Oryx* in press.

- Rivas, L. y Holmann, F. 2002. Sistemas de doble propósito y su viabilidad en el contexto de los pequeños y medianos productores en América Latina tropical. Trabajo presentado en el Simposio Internacional sobre Actualización en el Manejo de Ganado Bovino de Doble Propósito. Veracruz. Universidad Autónoma de México. Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical (CEIEGT).
- 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, and J. G. Gutiérrez-Cedillo. Dual purpose cattle production in Mexico. 2009. Trop. Anim. Health Prod. 41: 715-721
- Ruíz, R. y Oregui, L. 2001. El enfoque sistémico en el análisis de la producción animal. Dialnet. Vol. 16. Pag: 29-93.
- SAGARPA. (2012). Manual de buenas prácticas pecuarias en el sistema de producción de ganado productor de ganado. Secretaria de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesquero y Alimentación.
- Sheen, R. S. y Riesco, D. A. 2002. Factores que afectan la producción de leche en vacas de doble propósito en trópico húmedo (Pulcallpa). Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú 13 (1): 25-31
- SIAP. 2021. Estadísticas del sector ganadero. Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. México. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/>. Consultado: noviembre de 2021.
- Vilaboa, A. J. y Díaz, R. P. 2009. Caracterización socioeconómica de los sistemas ganaderos en siete municipios del estado de Veracruz, México. Zootecnia Tropical 27(4): 427-436.

Villamar A.L. y Olivera C. E. Situación actual y perspectiva de la producción de leche de bovino en México 2005. Coordinación General de Ganadería, México, D.F. SAGARPA.

Vite, C. C., López, O. R., García, M. J. G., Ramírez, V. R., Ruiz, F.A., López, O. R. 2007. Producción de leche y comportamiento reproductivo de vacas de doble propósito que consumen forrajes tropicales y concentrados, en *Veterinaria México*, 38 (1): 63-79.

Yamamoto, W., Ap Dewi, I., y Ibrahim, M. 2006. Effects of silvopastoral areas on milk production at dual-purpose farms at the semi-humid old agricultural frontier in central Nicaragua. *Agricultural Systems* 94: 368-367

Yamamoto, W., Dewi, I. A., Ibrahim, M. 2007. Effects of silvopastoral areas on milk production at dual-purpose cattle farms at the semi-humid old agricultural frontier in central Nicaragua. *Agricultural Systems*. 94: 368-375.