



**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**

**USO DE MODELOS DE SIMULACIÓN EN SISTEMAS DE GANADO**

**EN PASTOREO EN TEJUPILCO, ESTADO DE MÉXICO.**

**PRESENTA**

**SIMÓN SALINAS ESPINOSA**

**ASESOR**

**ANASTACIO GARCÍA MARTÍNEZ**

**CO-ASESOR**

**BENITO ALBARRÁN PORTILLO**

Temascaltepec, México, octubre de 2022

## ÍNDICE GENERAL

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>ii</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....	<b>ix</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>x</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>11</b>
<b>II. ANTECEDENTES</b> .....	<b>12</b>
2.1. Situación actual de la ganadería en México.....	12
2.2. Sistemas de producción de Ganado Bovino .....	13
2.2.1. <i>Extensivo</i> .....	14
2.2.2. <i>Semi-intensivo</i> .....	14
2.2.3. <i>Intensivo</i> .....	14
2.3. Importancia de la leche en México.....	14
2.4. Ganado doble propósito en México.....	16
2.5. Tipos de sistemas de producción de leche en México .....	17
2.6. Producción de carne y leche de bovino .....	19
2.7. Importancia y tendencia de los modelos de simulación .....	22
2.8. Tipos de modelos.....	23
2.8.1. <i>Básico</i> .....	23
2.8.2. <i>Aplicado</i> .....	23
2.8.3. <i>Estáticos</i> .....	23
2.8.4. <i>Dinámicos</i> .....	23
2.8.5 <i>Mecanicista</i> .....	23
2.8.6. <i>Determinista</i> .....	24
2.9. Estrategias de alimentación de ganado lechero doble propósito .....	24
2.9.1. <i>Ajuste de carga animal</i> .....	24
2.9.2 <i>Manejo de la pastura</i> .....	25
2.9.3. <i>Periodo de descanso</i> .....	25

2.9.4. <i>Periodo de ocupación</i> .....	25
2.9.5. <i>Sistemas silvopastoriles</i> .....	25
<b>III. JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>27</b>
<b>IV. HIPÓTESIS</b> .....	<b>28</b>
<b>V. OBJETIVOS</b> .....	<b>29</b>
5.1. General .....	29
5.2. Específicos.....	29
<b>VI. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>30</b>
6.1. Localización de la zona de estudio .....	30
6.2. Recolección de información .....	31
6.3. Análisis de la información .....	31
6.4. Parametrización del modelo de simulación.....	31
<b>VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>34</b>
7.1. Características de la unidad de producción (UP).....	34
7.2. Modelización de unidades de producción .....	36
7.2.1. <i>Función objetivo</i> .....	36
7.2.2. <i>Variables de decisión</i> .....	37
7.2.3. <i>Principales ingresos de las unidades de producción</i> .....	42
7.2.4. <i>Principales costos de la UP</i> .....	43
7.2.5. <i>Manejo y producción de forrajes para el ganado en las UP modelas</i> ...	44
<b>VIII. CONCLUSIONES</b> .....	<b>46</b>
<b>IX. REFERENCIAS CONSULTADAS</b> .....	<b>47</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>54</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Contenido medio de grasas, solidos no grasos, y solidos totales de la leche procedente de las 4 principales Razas .....	17
Cuadro 2. La producción de bovino en México se da en cuatro tipos .....	18
Cuadro 3. Características estructurales de las unidades de producción.....	35
Cuadro 4. Función objetivo del modelo de simulación .....	37
Cuadro 5. Variable de decisión sobre superficie disponible .....	38
Cuadro 6. Estructura del hato modelado.....	40
Cuadro 7. Principales ingresos en la UP de acuerdo con el modelo de la UP analizadas.....	42
Cuadro 8. Principales costos de la UP.....	43

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción de leche en México de bovino .....	16
Figura 2. Producción de leche por tipo de explotación.....	19
Figura 3. Principales estados productores de leche.....	20
Figura 4. Principales estados productores de carne en México .....	21
Figura 5. Ubicación de la zona de estudio. ....	30
Figura 6. Necesidades de mano de obra por época del año en las UP .....	41
Figura 7. Producción de forraje en praderas de las UP modeladas .....	45

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Modelo en la plataforma mosel del programa Xpress MP .....	54
---	----

## RESUMEN

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 su utilización en procesos biológicos y agropecuarios 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 tanto, en el presente trabajo se reportan los resultados de la investigación en las UP en sistemas de ganado en pastoreo en el trópico seco en el sur del estado de México, a través del análisis del programa X Press MP. El objetivo es modelar estrategias de alimentación con el uso del funcionamiento de los modelos de simulación como herramienta en la toma de decisiones para mejorar la producción y beneficio económico en las UP. La toma de datos se realizó en el sur del estado de México. Tejuzilco, mediante encuestas estructurales aplicadas directamente a los ganaderos en 55 unidades de producción con el seguimiento técnico-económico mediante programación lineal. La información obtenida de las UP, favoreció la parametrización de modelos de simulación, mismos que permiten la optimización de recursos disponibles en la propia UP y su aprovechamiento, el uso eficiente de la tierra y el manejo y gestión del ganado para maximizar la producción de carne y leche en sistemas de producción. Asimismo los modelos de simulación se convierten en una importante herramienta de apoyo en la toma de decisiones en las UP, para identificar la orientación de la producción ganadera en zonas de trópico seco.

## 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 función de lo anterior, el objetivo del trabajo fue parametrizar un modelo de simulación para maximizar el margen bruto (MB) en unidades de producción (UP) de ganado de doble propósito en el trópico seco.

## **II. ANTECEDENTES**

### **2.1. Situación actual de la ganadería en México**

La ganadería se le denomina la actividad económica que consiste en la cría de animales domésticos para el consumo humano y la obtención de sus insumos como carne, leche, lana y pieles (SAGARPA, 2018b; Riojas *et al.*, 2018).

La producción pecuaria aporta el 45% del valor de la producción agropecuaria y es equivalente al 95% del valor de la producción agrícola. En el país existen más de 3.4 millones de unidades de producción ganadera. La ganadería genera más de un millón de empleos permanentes remunerados. Las unidades de producción pecuaria se ubican a lo largo y ancho del territorio nacional, muchas de las cuales no tienen otra opción (SAGARPA, 2007).

Desde enero del 2018, los precios de la carne de aves de corral y ovino han aumentado, mientras que las de carne de bovino y porcino se mantuvieron estables. Se prevé que la producción mundial de carne en 2018 aumente a 336 millones de toneladas, es decir, un 1,7 por ciento (o 6 millones de toneladas) más que en 2017 y el crecimiento más rápido desde 2013 (FAO, 2018).

La distribución de la producción de leche por regiones en 2017 apenas cambio una décima o centésimas de punto con respecto a 2016. La parte de la región tropical seca húmeda que observaba una tendencia a la baja se mantenía, e incluso ganaba de punto. La región templada que observaba una tendencia de alza pierde una décima y la región Árida-Semi-Árida aumenta dos centésimas (LACTODATA, 2018).

## **2.2. Sistemas de producción de Ganado Bovino**

En México la ganadería bovina es la segunda actividad productiva más difundida en el medio rural después de la agricultura, su importancia radica en generar autoempleo en el sector rural (Rodríguez-Mejía *et al.*, 2018).

La ganadería bovina en México representa una de las principales actividades del sector agropecuario, por la contribución que realiza a la oferta de productos cárnicos, así como su participación en la balanza comercial del país. Hoy en día México produce más de 1.8 millones de toneladas de carne de res, de las cuales exporta más de 200 mil toneladas e importa cerca de 250 mil, principalmente desde E.U. por lo que menos, del 15% de la carne de res consumida en México es importada (Braña-Varela *et al.*, 2013).

En México existe una gran variedad de razas bovinas con orientación cárnica, de las cuales varias están bien establecidas y abundan en número de cabezas y criaderos, entre las principales razas se encuentran las siguientes. Hereford, Chalaais, Brahmán, Nelore, Pardo Suizo Europeo. El engorda de ganada bovina puede darse en tres diferentes tipos de sistemas (Financiera-Rural, 2009).

### **2.2.1. Extensivo**

Aprovechamiento de las condiciones naturales. Requiere de grandes extensiones de pastizales, los animales permanecen un tiempo más prolongado para ser ofrecidos al mercado, pero el costo de producción es inferior, puesto que no requiere de mucha mano de obra, concentrados y costosas instalaciones (Financiera-Rural, 2009).

### **2.2.2. Semi-intensivo**

Los animales pastorean por el día y por la noche son encerrados con mezclas alimenticias (Financiera-Rural, 2009).

### **2.2.3. Intensivo**

Mantiene al ganado en confinamiento por un periodo de 90 días. Con una alimentación a base de raciones balanceadas especialmente preparadas. Para este sistema se requieren solo de una reducida superficie de terreno para engorda un gran número de animales (Financiera-Rural, 2009).

## **2.3. Importancia de la leche en México**

Se dice que se procurará un estímulo a la producción de leche, de pequeños y medianos productores. La autosuficiencia alimentaria, en particular de leche y por extorsión de productos lácteos, pone el énfasis en la “no dependencia” del exterior en el suministro de lácteos. La producción de leche nacional de enero del 2013 a diciembre del 2018, se muestran en la Figura 1 (LACTODATA, 2019).

La ganadería en México es la actividad económica de mayor importancia en zonas rurales (Rojo-Rubio *et al.*, 2009). La actividad ganadera conserva una gran relevancia en el contexto socioeconómico del país ya que, con el conjunto con el sector primario, ha sido sustento para el desarrollo de la industria nacional. En este

sentido proporciona alimento y materias primas, divisas, empleo, distribuye ingresos en el sector rural y utiliza recursos naturales que no tiene cualidades adecuadas para la agricultura u otra actividad productiva (Manzanares-López, 2018). En México es una actividad económica diversificada relevante, realizada por un elevado porcentaje de población en zonas rurales que se ha caracterizado por la generación de recursos económicos para este sector de población. Además, la producción de carne y leche se hace bajo diversas condiciones agroecológicas, que les confieren identidades particulares (García-Martínez *et al.*, 2018).

La producción de leche de bovino se ha mantenido como el eje en torno el 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 sector pecuario nacional, por la contribución que realiza a la oferta de productos cárnicos, así como su participación en la balanza comercial del país, donde las exportaciones de ganado en pie es la principal fuente de ingresos (Sánchez 2003).

Esta actividad, se ha caracterizado por la generación de recursos económicos de un gran número de familias, mismas que han aplicado diversas estrategias de producción. Sin embargo, la mayoría de ellas no han tenido el desarrollo esperado y se nota grandes rezagos, lo que evidencia, diversas limitaciones de gestión y manejo (Magaña-Monforte *et al.*, 2006).

Por ello es indispensables que es las unidades de producción UP, se maneje información sobre la disponibilidad y utilización de recursos, los procesos técnicos y administrativos empleados para determinar las variaciones que pueden generar en su estructura de costos y sus niveles de productividad y rentabilidad. Lo anterior les permite conocer los problemas técnicos, económicos, y financieros existentes y tomar decisiones adecuadas al respecto (Nava *et al.*, 2009).

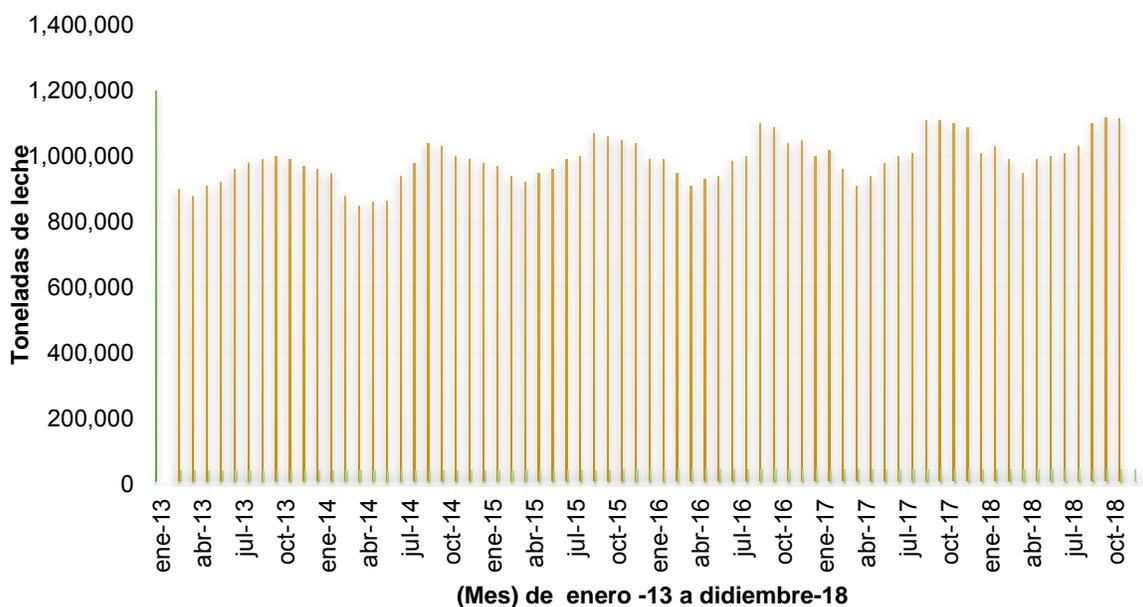


Figura 1. Producción de leche en México de bovino.

Fuente: LACTODATA (2019).

#### 2.4. Ganado doble propósito en México

La ganadería doble propósito es una actividad económica importante en zonas rurales por el ingreso que genera la venta de leche y carne (Borboa-Ceverino y Aguirre-Jaramillo, 2018). La ganadería doble propósito (DP), es la producción de leche y carne de manera simultánea, sin llegar a especializarse en ninguna de las dos funciones, sin embargo, actualmente al interior de los sistemas DP, se han observado diferentes tendencias: ganado doble propósito con orientación a mayor producción de leche, carne o el DP tradicional (García-Martínez *et al.*, 2015). La producción de leche con ganado doble propósito DP aparece como una opción viable para el uso de la tierra (Holmann-Federico, 2005).

La ganadería doble propósito solo se lleva a cabo en algunas regiones del país debido a las irregularidades de los terrenos con pendientes peligrosas, forrajes de bajo valor nutritivo, zonas urbanas.

Los pastos pueden ser los responsables de una buena producción de leche por vaca por hectárea, siempre y cuando sean bien manejados, esto quiere decir que se les puede dar oportunidad a los animales de pastorear forrajes de calidad uniforme durante la mayor parte del año, eso solo se logra con el manejo tecnificado del pastoreo. La calidad de la leche de las diferentes razas doble propósito se muestran en el Cuadro 1 (Gasque-Gómez y Posadas-Manzano, 2008).

Cuadro 1. Contenido medio de grasas, sólidos no grasos, y sólidos totales de la leche procedente de las 4 principales Razas

Raza totales	Grasa	sólidos no grasos	sólidos
Holstein	3.45	8.48	11.93
Jersey	5.14	9.43	14.5
Suiza	4.01	9.40	13.41
Cebú	4.80	8.70	13.50

Fuente: Gasque-Gómez y Posadas-Manzano (2008).

## 2.5. Tipos de sistemas de producción de leche en México

Un sistema de producción se define como el conjunto de elementos característicos e indispensables que interactúan para lograr un objetivo, en este caso, producción de carne, leche y sus derivados, por lo que los sistemas básicos de explotación de bovinos para carne en nuestro país son el intensivo o engorda en corral y el extensivo o pastoreo, en praderas y agostaderos (Borboa-Ceverino y Aguirre-Jaramillo, 2018). Los sistemas de producción de leche en México no son homogéneos, es decir las unidades de producción no son iguales, se muestra en el Cuadro 2 así mismo al igual se muestran en la Figura 2 el porcentaje que abarca

cada una de ellas con algunas características que diferencian a los tipos de sistemas lecheros en México.

Cuadro 2. La producción de bovino en México se da en cuatro tipos

<b>Sistemas</b>	<b>Razas</b>	<b>Características</b>
Especializado	Holstein, pardo suizo, Jersey	Alta tecnología especializada, manejo en estabulación, alimentación a base de forrajes de corte y alimento balanceados, ordeña mecánica, la producción destinada a plantas pasteurizadas y de transformación.
Simi-especializado	Holstein, Pardo suizo	Semiestabulación, ordeña manual o mecánica, nivel medio de tecnología y en algunos casos no cuenta con tanque de enfriamiento.
Doble propósito	Razas Cebuinas, y sus cruzas	Producción de carne como de leche, manejo se da en forma extensiva, alimentación de pastoreo, ordeña manual.
Familiar	Suizo Americano, Holstein y sus cruzas	Alimentación es a base de pastoreo, pequeñas extensiones de terreno cerca de la vivienda, ordeña manual, producción auto consumo y botero.

Fuente; SAGARPA (2015).

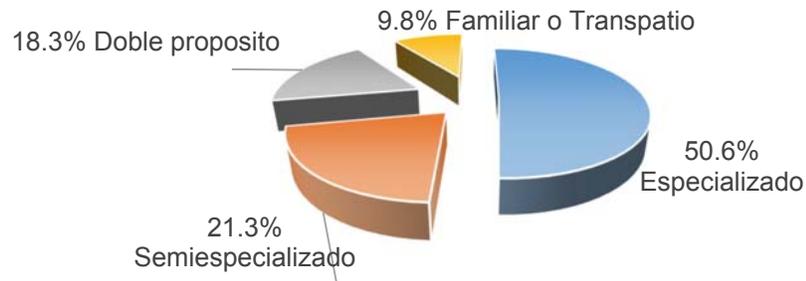


Figura 2. Producción de leche por tipo de explotación

Fuente: SAGARPA (2015).

## 2.6 Producción de carne y leche de bovino

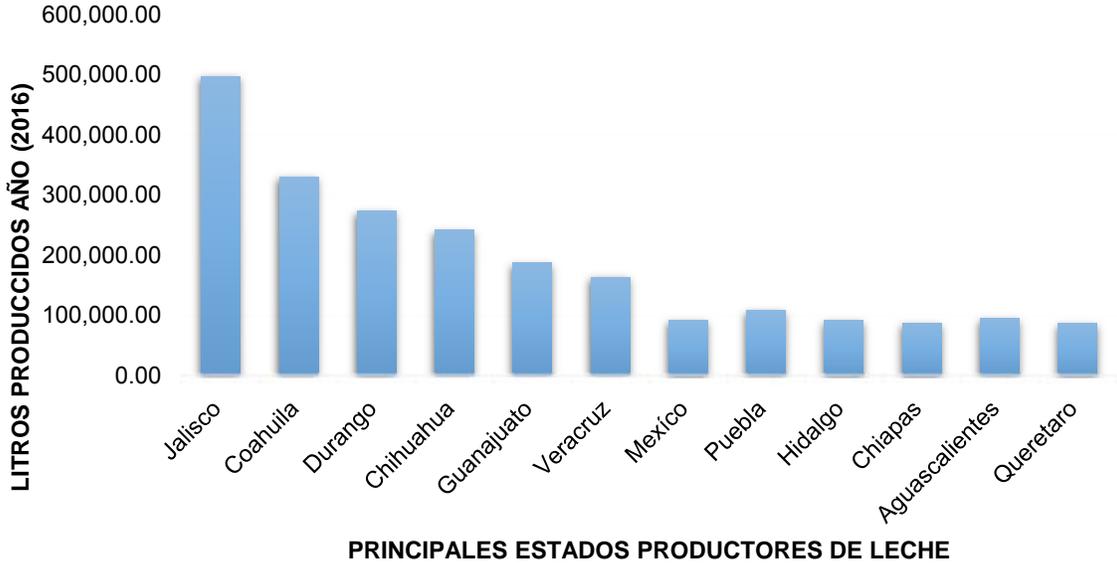
En la actualidad la mayoría de las unidades de producción UP, doble propósito no disponen de una política dirigida a la estimación y calculo financiero de sus resultados, lo cual constituye una desventaja ante la competencia, dado que no cuentan con los recursos que poseen sus competidores y pierden valor en el mercado al no aprovechar en forma eficiente los recursos que disponen (García-Martínez *et al.*, 2015). El sistema doble propósito hoy por hoy se está constituyendo en una alternativa muy viable para producir carne y leche sin la necesidad de una gran infraestructura para lograr tal fin (Pérez-Arellano, 2016).

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, 2018a).

La cría, engorda y comercialización de ganado bovino para la producción de carne es una de las principales actividades del sector pecuario mexicano. La carne de bovino forma parte de la canasta básica registrada por el INGI. Para 2014, México ocupa el octavo lugar mundial en la producción mundial, con un total de 1.8 millones de toneladas, lo que represento un valor de 91 mil millones de pesos (Aguirre-Jaramillo *et al.*, 2018). La importancia de la producción de leche para el consumo humano son retos de las explotaciones actuales por la demanda por capital que cada año va en aumento en México no se cobre la demanda, en la Figura 3 se muestran los principales estados productores de leche en México.

Los principales estados productores de leche son.

Figura 3. Principales estados productores de leche



Fuente: LACTODATA (2019).

La producción de bovinos para carne es muy diversa en términos de recursos disponibles, manejo técnico productivo; es generalizada la falta de capacitación técnica y recursos financieros, y una organización ineficiente, manifestándose en un rezago técnico-productivo y dependencia de insumos externos (Rodríguez-Mejía *et al.*, 2018). En términos número de productores y procesadores, la industria de 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 (SAGARPA, 2007). En México la producción de carne del 2007 al 2017, creció 1.6 por ciento millones de toneladas, donde en consumo nacional aparente fue de 1.8 millones de toneladas, lo que significa que en consumo por capital por año fue de 0.2 y tuvo una reducción entre 2007 a 2017. Los principales estados productores de carne de bovino en México se muestran en la Figura 4.

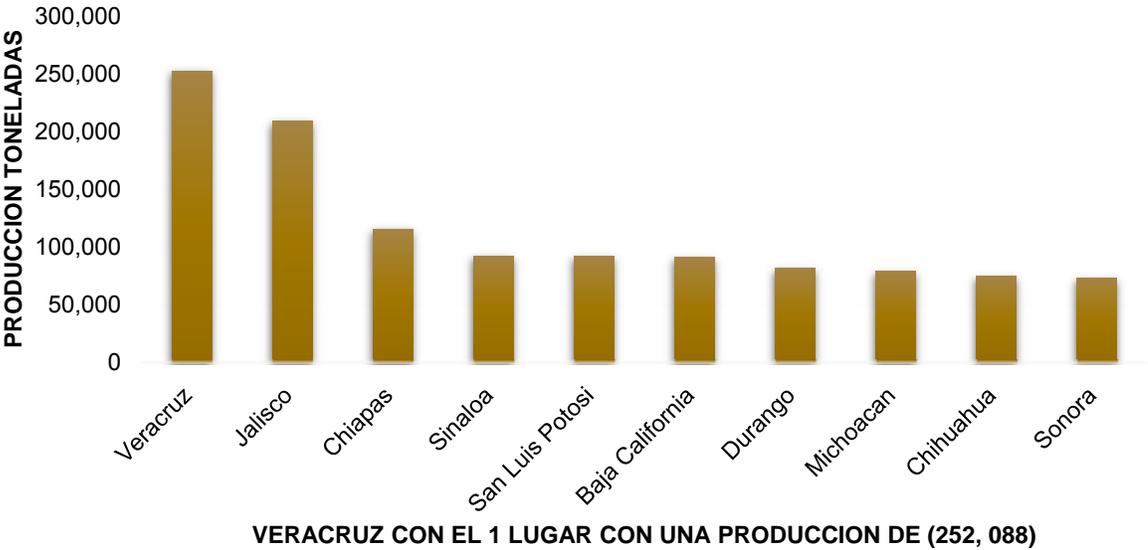


Figura 4. Principales estados productores de carne en México

Fuente; SIAP (2020).

Por lo tanto, la clave para aumentar la producción está en desarrollar estrategias de producción que permitan combinar los forrajes mejorados con los existentes en las fincas para optimizar, de esta forma, su uso y superar las deficiencias nutricionales (Lazcano- Carlos *et al.*). En condiciones tropicales es muy difícil encontrar un forraje

que se capaz de suministrar, en cantidad y calidad, todos los nutrientes que requiera el animal (Garmendia-Julio, 2005).

La cantidad de forraje que consume el animal en estas condiciones no se pueden estimar con precisión, pero si la pastura es de buena calidad un consumo de 1.5 a 2.0% del peso vivo en M.S. es predecible. Las vacas que pastorean requieren también suplementación mineral constante mente (Gasque-Gómez y Posadas-Manzano, 2008).

## **2.7. Importancia y tendencia de los modelos de simulación**

Un modelo puede definirse como una representación simplificada de una realidad. Desde el punto de vista matemático, un modelo es una teoría o descripción matemática de un objeto o un fenómeno real (Villalba-Mata, 2000). 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 obtener (García-Martínez *et al.*, 2011).

La ventaja de los modelos matemáticos de simulación aparece porque los conceptos y datos son transformados en ecuaciones matemáticas, que pueden ser resueltos rápidamente por los ordenadores, y proporcionar un enfoque dinámico y cuantitativo al sistema (Villalba-Mata, 2000).

El objetivo de estos casos de estudio es maximizar el beneficio económico mediante el desarrollo de diversas estrategias que incrementan la producción con el aprovechamiento de los recursos propios de la unidad de producción y el uso reducido de insumos externos (Manzanares-López, 2018).

## **2.8. Tipos de modelos**

### **2.8.1. 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 (Manzanares-López, 2018).

### **2.8.2. Aplicado**

Tiene como objetivo solucionar un problema. Implica una ampliación del conocimiento tanto científico como empírico (Villalba-Mata, 2000).

### **2.8.3. Estáticos**

Representan el estado de un sistema solamente en un instante, ejemplo, las tradicionales tablas de necesidades nutritivas de los animales (Manzanares-López, 2018).

### **2.8.4. Dinámicos**

Describe el tiempo explícitamente, siendo una variable más del modelo. Utilizados mayormente en la ganadería (Manzanares-López, 2018).

### **2.8.5 Mecanicista**

Es aquel que representa los mecanismos subyacentes (Villalba-Mata, D. 2000).

### **2.8.6. Determinista**

Es aquel que hace predicciones exactas para cantidades (como el peso del animal a la producción de leche), sin ninguna distribución de probabilidades asociada (Villalba-Mata, 2000).

## **2.9. Estrategias de alimentación de ganado lechero doble propósito**

La ganadería mestiza de doble propósito ha desarrollado teniendo como base de su alimentación el uso de pastos cultivados, constituidos fundamentalmente por especies forrajeras gramíneas de origen africano, que han mostrado una excelente adaptación a las condiciones de clima y suelo predominantes en el trópico bajo latinoamericano (Faria-Marmol, 2006).

La producción en condiciones de pastoreo está de terminado principalmente por el consumo voluntario que realizan los animales (Soares de Lima-Lapetina, 2009).

En el trópico en general, y en México en particular, el recurso más abundante para alimentar el ganado es el pasto, pero diversos factores pueden limitar su consumo y utilización, por lo que las necesidades nutricionales no siempre se cubren, y para evitar la disminución de la producción se debe usar la suplementación (Magaña-Monforte y Silva-Mena, 2009).

Los factores que disminuyen la eficiencia del pastoreo son las altas temperaturas y la humedad ambiental que obligan a restringir el consumo durante las horas más calientes del día y aumentar el pastoreo nocturno (Faria-Marmol, 2006).

### **2.9.1. Ajuste de carga animal**

La producción de forrajes varía de una época a otra durante el año y de un año para otro, por lo que la carga animal debe ajustarse para permitir que exista suficiente

forraje disponible aun en las épocas desfavorables, minimizar las pérdidas del forraje producido y evitar el agotamiento del potrero (Faria-Marmol, 2006).

### ***2.9.2 Manejo de la pastura***

Para lograr niveles elevados y estables de productividad en la ganadería de doble propósito es necesario un manejo racional del suelo, pasto y animal, evitar el sobre pastoreo, ajustando la carga animal, adecuando los sistemas de pastoreo e incorporando nutrientes al suelo (Faria-Marmol, 2006).

### ***2.9.3. Periodo de descanso***

Es el número de días que permanece el potrero sin pastorear, desde el momento que los animales salen al potrero hasta su regreso. Debe ser lo suficientemente logar para que las plantas superen la mayor tasa de crecimiento diario, y almacenen en sus raíces y órganos especializados suficientes reservas para asegurar un rebrote vigoroso luego de la defoliación (Faria-Marmol, 2006).

### ***2.9.4. Periodo de ocupación***

Es el tiempo o número de días que un lote de ganado ocupa un potrero del total de los empleados en la rotación. Debe ser lo suficientemente corto para que el brote de las plantas que fueron pastoreadas a inicios del periodo de ocupación no vaya a ser desfoliado por los animales en el mismo ciclo de pastoreo (Faria-Marmol, 2006).

### ***2.9.5. Sistemas silvopastoriles***

Es el manejo de árboles, ganado y forraje en un sistema integrado. La siembra de árboles de alto valor comercial combinado con forrajes puede aportar a los productores ingresos extras en la finca. Además de obtener madera, frutos, forraje y otros productos proporcionando Hábitat para la vida silvestre, mejorando el paisaje

y protegen a los animales al proveer sombra y reducir el estrés causado por la radiación, las altas temperaturas y ráfagas de viento (Faria-Marmol, 2006).

### **III. JUSTIFICACIÓN**

Los altos costos en alimentación de las vacas a base de concentrados representan entre el 70% y hasta el 80% en algunos casos, los animales en pastoreo son una alternativa para reducir costos a base de plantas, arbustos y árboles nativos presentes en la unidad de producción (UP) doble propósito (DP) para la producción y reproducción de los animales. Asimismo, dada la dificultad para la experimentación en finca o controlada, los modelos de simulación son una alternativa para conocer las directrices y tendencias de las UP en condiciones de trópico seco. Por otra parte, permiten planificar estrategias de alimentación con el uso óptimo de los recursos e insumos disponibles directamente en la UP y con ello evitar el uso de insumos externos que incrementan el costo de producción.

#### **IV. HIPÓTESIS**

Los modelos de simulación son herramientas útiles para planificar estrategias de alimentación y optimizar el aprovechamiento de los insumos disponibles en las unidades de producción y favorecen los procesos de toma de decisiones.

## **V. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

Modelizar estrategias de alimentación en sistemas de ganado bovino de doble propósito para optimizar los recursos disponibles.

### **5.2. Específicos**

Parametrizar modelos de simulación bajo diferentes estrategias de manejo de ganado bovino doble propósito en condiciones de trópico seco

Evaluar el funcionamiento de modelos de simulación y su aplicabilidad para optimizar recursos en UP DP.

Valorar la pertinencia de los modelos de simulación como herramientas en la toma de decisiones para mejorar la productividad y beneficio económico en UP DP.

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1. Localización de la zona de estudio

La investigación se realizó en Tejupilco estado de México, se localiza al sureste del Estado de México (Figura 5) y es la localidad más importante del sur del estado. Presenta límites al norte con el municipio de Otzoloapan, Zacazonapan, Temascaltepec, San Simón de Guerrero y Luvianos, al sur con Amatepec y Sultepec, al este con San Simón de Guerrero, Texcaltitlan y Sultepec y al oeste con Michoacán, Guerrero y Luvianos. El municipio de Otzoloapan. Sus coordenadas geográficas con las que cuenta el son,  $18^{\circ}45'30''$  y  $19^{\circ}04'32''$  N y entre  $99^{\circ}59'07''$  y  $100^{\circ}36'45''$  O y una altitud de 2000 msnm. Cuenta con una superficie total de 669.13 km<sup>2</sup> y una población de 25, 631 habitantes. Las principales actividades son el comercio, agropecuaria y sus derivados (PDMT, 2007).



Figura 5. Ubicación de la zona de estudio.

Fuente: PMDT, 2007.

## **6.2. Recolección de información**

La información se obtuvo mediante encuestas estructuradas aplicadas directamente a los ganaderos responsables de la UP para recoger, validar y analizar la información que permita describir las situaciones sobre la realidad de éstas. La muestra de UP se obtuvo mediante muestreo aleatorio de acuerdo las indicaciones de (Hernández-Sampieri *et al.* (2004) de forma que se monitorearon 55 unidades de producción (UP). Se obtuvo información sobre la estructura de la UP, de la familia y mano de obra (UTA), uso de maquinaria, los forrajes disponibles en la zona (arbustos, árboles y pastos nativos), utilizados en la alimentación del ganado bovino, consumo voluntario de alimento y periodos de utilización de las zonas de pastoreo, indicadores económicos (costos de producción e ingresos), orientación de la producción o productos comercializados (carne, leche y sus derivados). Así como aspectos políticos que afectan el sistema y el ambiente en que se desarrollan las UP en estudio (Manzanares-López, 2018).

Asimismo, se realizaron seguimientos técnico-económicos que se complementaron con información que se obtuvo de fuentes oficiales como SAGARPA, SEDAGRO, INEGI, SIAP, tesis profesionales especializadas y artículos científicos sobre optimización y aprovechamiento de recursos disponibles en la UP y ganado bovino, tanto nacionales como internacionales.

## **6.3. Análisis de la información**

La información se analizó mediante el programa X Press MP, para la parametrización del modelo de simulación y optimización.

## **6.4. Parametrización del modelo de simulación**

El modelo de simulación sobre las estrategias de producción y optimización se realizó mediante programación lineal, para encontrar las combinaciones de manejo y gestión óptimas en función del modelo propuesto por García-Martínez (2008).

Se optimizó una función lineal, cuya función se expresa:

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

Sujeto a:

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

Con  $x_{ij} \geq 0$

Dónde:  $x_{ij}$  es el nivel de actividad  $j$ -ésima por lo que  $n$  denotara el número de actividades;  $c_j$  representa el margen de beneficio o costo que supone producir una unidad de  $j$ -ésima actividad. Por lo tanto,  $m$  denotara 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 fue el siguiente:

Optimizar  $z = cx$

Sujeto 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 expresó el Margen Bruto (MB) de las UP. La solución óptima del modelo se obtuvo maximizando la función económica de acuerdo con la fórmula general propuesta por García-Martínez (2008).

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

## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1. Características de la unidad de producción (UP)

Las características estructurales de las UP se muestran en Cuadro 3. Se observa que los ganaderos son de mayor de edad, al igual que la antigüedad de la UP. El nivel educativo es bajo, relacionado con estudios primarios y 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, supera las 40 ha, de las cuales más de 90% son superficies con forrajes, destacando principalmente pastos naturales o pastizales. Los cultivos agrícolas son poco importantes y se limitan 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.

Cuadro 3. Características estructurales de las unidades de producción

Variable	Promedio
Numero de UP	55
Edad del ganadero	60
Antigüedad de la UP	30
Años de educación	1.7
Tamaño de la familia	4.7
Unidades de trabajo año (UTA)	1.5
% UTA familiar	80.0
% UTA contratada	20.0
Ha de superficie de tierra	40.0
Ha de cultivos agrícolas	3.0
Ha de cultivos forrajeros	37.0
Unidades Ganaderas bovino (UGB)	25.0
Número de vacas	13.0

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con varios autores (Albarrán-Portillo *et al.*, 2018; Esparza-Jiménez *et al.*, 2021), la producción de forraje en la propia UP es fundamental para la alimentación del ganado, aunque también la utilización de insumos externos es importante sobre todo en la época de estiaje, donde incrementa el uso de balanceados comerciales. En este sentido, el costo de producción incrementa

aproximadamente 30%. La orientación de la producción es importante en este sentido, de forma que García-Martínez *et al.* (2015), indicaron que el costo de producción es mayor en UP que producen leche la mayor utilización de insumos externos, mientras que UP de producción de doble propósito tradicional el costo es menor, debido a la utilización de insumos producidos directamente en la UP. Sin embargo, en las UP que producen leche, la venta de leche diaria, permite mantener los gastos de la actividad y el ingreso por la venta estacional de becerros, animales engordados y de desecho, es la ganancia de un ciclo de producción (Nájera-garduño *et al.*, 2016; Reyes-Pérez, 2014), similar a los resultados obtenidos por Soares de Lima-Lapetina (2009) bajo un sistema de manejo de silvopastoreo con pastos, arbustos y árboles forrajeros exclusivamente, aunque el autor resalto la importancia de la engorda intensiva aprovechando tecnologías de vanguardia. El sistema de producción característico de la zona de estudio debe su importancia en la presencia de ganado bovino principalmente y razas de animales criollas o especializadas en la producción de leche o carne, como lo han destacado García-Martínez *et al.* (2015) y Ochoa (1991) o exclusivamente orientadas a la producción de leche o carne con razas específicas.

## **7.2. Modelización de unidades de producción**

### **7.2.1. Función objetivo**

La función objetivo del modelo de simulación se muestra en el Cuadro 4. Se observan los datos originales y modelados y aunque se notó un incremento promedio de 44% en el ingreso y el costo de producción, también se observó en el MB, de aproximadamente 60%. Lo que muestra la ejecución adecuada del modelo, como lo han indicado Manzanares-López (2018) y García-Martínez (2008), si y solo si se utiliza información confiable de los sistemas de producción para su parametrización. Las variaciones mostradas, se deben principalmente al ajuste en del modelo de optimización.

En este sentido, de acuerdo con Agudelo-Gómez *et al* (2008), el avance en las metodologías estadísticas y matemáticas (regresión lineal) y la mejora de herramientas computacionales han permitido el perfeccionamiento sustancial en los sistemas de análisis de datos y en la programación para obtener diferentes proyecciones, sobre el funcionamiento de sistemas de agropecuarios.

Cuadro 4. Función objetivo del modelo de simulación

Variables	Observado	Esperado	Diferencia (%)
Margen Bruto	29,815.4	73,210.4	59.3
Ingreso total	80,777.0	158,843.0	49.1
Costo total	50,961.5	85,632.4	40.5

Fuente: Elaboración propia.

### **7.2.2. Variables de decisión**

La optimización en el uso de la tierra se muestra en el Cuadro 5. Del total de la superficie disponible en la UP, de las 37 ha de forraje, resalto el uso y aprovechamiento de la superficie total cubierta con pastizales, mientras que la superficie con praderas solo consideró 39%. Los cultivos agrícolas no son indispensables para la alimentación del ganado. De acuerdo con Manzanares-López (2018), esta tendencia obedece al bajo costo que supone el uso de estas superficies por el manejo extensivo y poco trabajo destinado al cuidado y mantenimiento, lo que supone mayor margen de ganancia para las UP con la utilización mayoritaria de pastos naturales, bajo un sistema de pastoreo. Mientras que García-Martínez *et al.* (2015), indicaron una reducida utilización de cultivos agrícolas por el alto costo de producción, aunque son un apoyo en la alimentación

del ganado (Vences-Pérez et al., 2017), sobre todo durante la época estiaje (Salas-Reyes *et al.*, 2017).

Cuadro 5. Variable de decisión sobre superficie disponible

Variables	Observado	Esperado	Diferencia (%)
Pastizales	14.0	14.0	0.0
Pradera	23.0	9.0	-155.6
Cultivos agrícolas	3.0	0.0	-

Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 6. Se muestra la estructura del hato. El tamaño promedio del hato fue de 13 vacas, las cuales en su totalidad fueron consideradas por el modelo de optimización. Esto en parte, por la disponibilidad de superficies y la producción de forraje obtenido de estas, suficiente para alimentar al hato durante un ciclo de producción. El resultado del modelo, está en función de parámetros estandarizados utilizados la parametrización del modelo, como lo ha establecido (Garcia-Martinez, 2008) en sistemas ganaderos de montaña. Estos indicadores asumen que 50% de los becerros nacidos son hembras y 50% machos con un 2 a 3 % de mortalidad al destete respectivamente, mientras que en la engorda, se consideró 2% de mortalidad y 2% en el caso del reemplazo de vacas adultas.

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, influye considerablemente 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 (Manzanares-López 2018), así como de los parámetros reproductivos establecidos para este tipo de UP (García-Martínez, 2008). Bajo este enfoque y de acuerdo con las variables analizadas, Rojo-Rubio *et al.* (2009) apuntan que la ganadería es la actividad económica de mayor importancia en zonas tropicales. Asimismo, los resultados del modelo indican una mayor proporción de animales vendidos al destete y la engorda es menor importancia. Asimismo, esta orientación depende del costo de la alimentación, normalmente mayor en sistemas estabulados y en la engorda intensiva (Manzanares-López, 2018; Cortés *et al.*, 2003) y no obstante que el modelo indica el número y tipo de animales que se producen en la UP.

Cuadro 6. Estructura del hato modelado

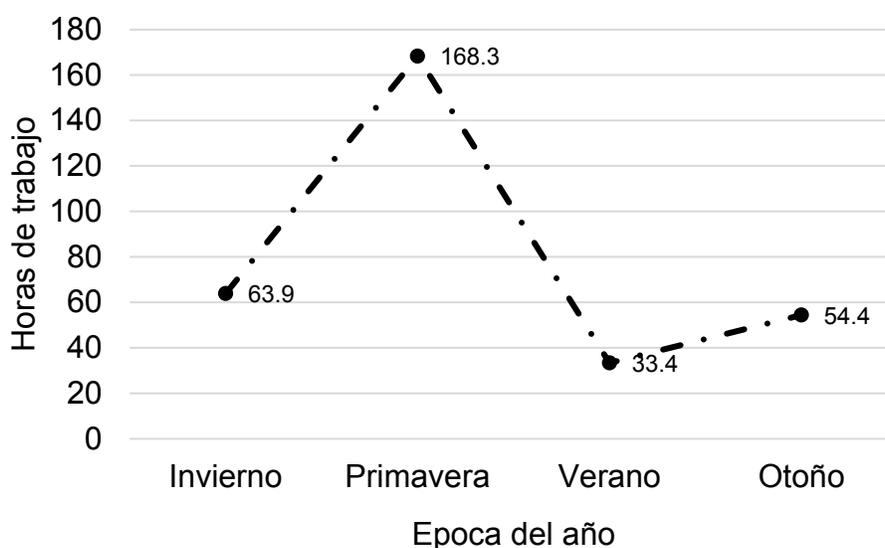
Variables	Observado	Modelado	Cantidad
No. Vacas	13.0	13.0	0.0
Hembras nacidas		6.4	
Machos nacidos		6.4	
Machos destetados		3.5	
Hembras destetadas		2.3	
Reemplazo de vacas		2.0	
Reposición (1 año)		2.1	
Reposición (2 años)		2.1	
Macho engordado		1.4	
Hembra engordada		1.1	

Fuente: Elaboración propia.

La mano de obra MO es uno de los recursos necesarios para el manejo del ganado, así como para las actividades relacionadas para los usos y aprovechamiento de las superficies de forrajes, que requieren de un constante mantenimiento. La mano de obra disponible en las UP fue de 1.5 UTAs, y el modelo optimizó esta disponibilidad y es lo que se requiere para el manejo de 34 ha de superficie y 13 vacas para pie de cría. Bajo esta premisa Manzanares-López (2018) y García-Martínez (2008) han

resaltado que la utilización de mano de obra se diversifica y depende las actividades a realizar para el manejo del ganado y la tierra en función de las cuatro estaciones del año y que se corresponden con un año productivo. En la Figura 6, se muestra la distribución y uso de mano de obra, e forma que durante la primavera y el invierno se requiere mayor tiempo para las actividades a realizar y coincide con la mayor carga de trabajo para el manejo y gestión la UP, enfocado principalmente al manejo de las superficies con forraje, el empadre, así como de la atención de partos, rotación de potreros, cercado etc. como ya lo han reportado García Martínez *et al.* (2015) y Nájera-Garduño *et al.* (2016). El resto del año, la utilización de mano de obra disminuye considerablemente. La disponibilidad de mano de obra en las UP se expresa en unidades de trabajo por año (UTA). Es decir, una persona que labora una jornada de 8 horas de trabajo por día y 270 días por año (Manzanares-López, 2018 y García-Martínez, 2008).

Figura 6. Necesidades de mano de obra por época del año en las UP



Fuente: Elaboración propia.

### 7.2.3. Principales ingresos de las unidades de producción

En el Cuadro 7, se muestran los principales ingresos. En función de modelo, las UP analizadas, los ingresos provienen principalmente de la venta de terneros (as) destetados (40.8%), debido al bajo costo que supone la alimentación, al igual que la de las vacas que depende de los pastos y el pastoreo y que su venta supone 14.6% de los ingresos, mientras que la mayor proporción (44.6%), proviene de la venta de animales engordados, no obstante, que el número de cabezas que se vende reducido. Sin embargo, la decisión también depende del mayor costo de producción. En toda actividad relacionada con la ganadería es importante la fuente de ingresos ya sea carne, leche y sus derivados, con los registros económicos el productor evalúa su actividad y le permite cotejar cual es el costo que obtiene de la actividad (Manzanares-López, 2018). Otros 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. Asimismo, en otras UP la producción de leche sostiene la actividad y la venta de carne, constituye el mayor ingreso que complementa el MB (García-Martínez *et al.*, 2017).

Cuadro 7. Principales ingresos en la UP de acuerdo con el modelo de la UP analizadas

Ventas	Ingreso
Terneros (as) destetados	64,806.84
Vaca de desecho	23,196.92
Engorda de animales	70,839.24

Fuente: Elaboración propia.

#### **7.2.4. Principales costos de la UP**

Los costos de producción de las UP de acuerdo con el modelo 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 balanceados comerciales en el caso de la producción de leche y en la engorda de animales (Manzanares-López 2018). Los principales costos de producción se observan en el Cuadro 8 e indican que el mayor costo se debe a la alimentación de terneros y animales en engorda, 28.6% y 32.2% respectivamente, seguido de la reposición de hembras que supone un promedio de 15.4%. La inversión en el mantenimiento de la superficie para pastoreo es bajo, como lo ha demostrado García-Martínez (2008) en modelos con ganado de montaña. Los 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. (Manzanares-López 2018).

Cuadro 8. Principales costos de la UP

Variable	Costos
Vaca	7,179.12
Reposición 1 año	13,251.20
Reposición 2 años	13,119.10
Teneros	24,479.90
Pastos	27.15
Animales engordados	27,575.90

Fuente: Elaboración propia.

### **7.2.5. Manejo y producción de forrajes para el ganado en las UP modelas**

Los forrajes disponibles en la UP, para sus requerimientos nutricionales constituyen unos de los procesos más importantes para su reproducción y mantenimiento del animal (Manzanares-López, 2018). Antes de iniciar un programa de alimentación del ganado en pastoreo es necesario conocer los requerimientos nutricionales de los animales, así como el consumo de energía metabolizable (EM) y materia seca en las diferentes etapas fisiológicas en función de la calidad y disponibilidad del recurso forrajero (García-Martínez, 2008; Cortés *et al.*, 2003).

La producción de forraje (Ton de MS) vario de acuerdo con la estación del año, como se observa en la Figura 7 e indica una mayor producción de forraje en primavera y verano (35.7% y 28.7% respectivamente), mientras que en otoño e invierno se produce menor cantidad de forraje, solo un promedio de 17.8%. Se observa también que la producción de forraje se obtiene de los pastizales o pastos naturales (66.3%) y un bajo porcentaje de las praderas (33.7%), similar al os reportes de Manzanares-López (2018) y García-Martínez (2008). De acuerdo con los resultados de producción de EM = 0 y MS= -20,153.0 Ton. Lo que corrobora que existe suficientes nutrientes para las necesidades del ganado y que el sistema podría soportar mayor número de animales, por el excedente de forraje. Lo que además sugiere que se podría reducir el uso de balanceados comerciales, como lo ha indicado García Martínez *et al.* (2011) quienes observaron una tendencia de aumento en uso de superficies para pastoreo para reducir el uso de insumos externos y los costos de producción. A diferencia, la secesión o cambio de estas superficies con cultivos agrícolas, que requieren de algunas actividades tales como preparación de la tierra, siembra, fertilización y el proceso de conservación del forraje, como ensilado o heno supondría una pérdida de \$5,490.0 por cada hectárea cultivada, similar a los reportes de García-Martínez (2008). Bajo este enfoque la optimización y aprovechamiento de los recursos de la propia UP, es la actividad de producción más económica y práctica que se adapta las necesidades de UP de doble propósito (Manzanares-López 2008).

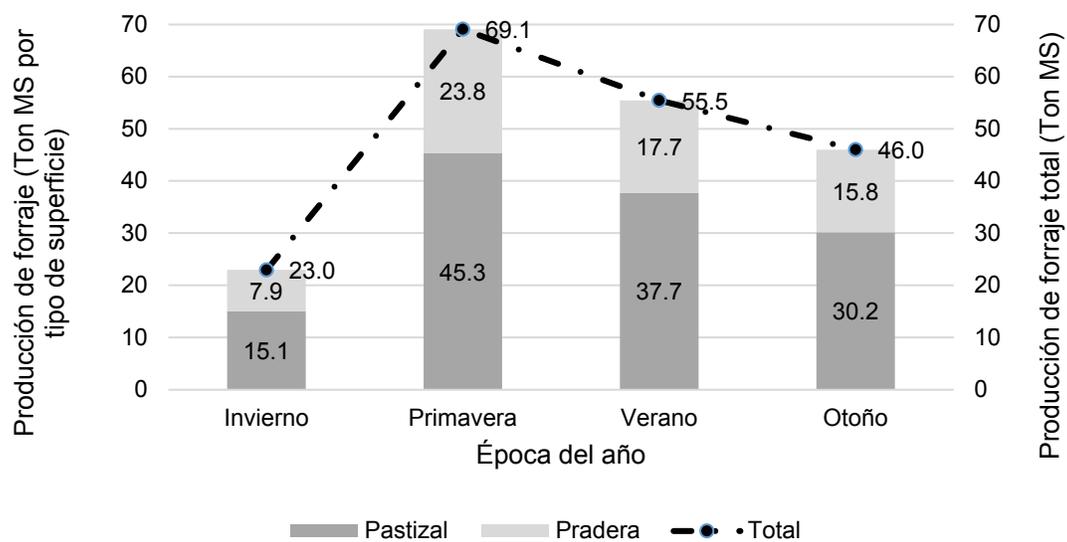


Figura 7. Producción de forraje en praderas de las UP modeladas

Fuente: Elaboración propia.

## VIII. CONCLUSIONES

La información obtenida de las UP, permite la parametrización de modelos de simulación, mismos que permiten la optimización de recursos disponibles en la propia UP y favorece su aprovechamiento, el uso eficiente la tierra y el manejo y gestión del ganado para maximizar la producción de carne y leche en sistemas de producción de doble propósito y el margen bruto. Siendo la venta de becerros destetados y animales engordados, la fuente principal de los ingresos. Asimismo, los modelos de simulación se convierten en una importante herramienta de apoyo en la toma de decisiones en las UP, para identificar la orientación de la producción ganadera en zonas de trópico seco.

## IX. REFERENCIAS CONSULTADAS

- Agudelo-Gómez, D., Cerón-Muños M., y Restrepo-Betancur, L. 2008. Modelación de las funciones de crecimiento aplicadas a la producción animal. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 21 (1): 39-58.
- 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., García-Martínez, A. y Arriaga-Jordán, C. M. 2018. Desarrollo de estrategias de suplementación para vacas en lactación en la época de secas en un sistema de doble propósito en Zacazonapan, Estado de México. En: García-Martínez, A., Albarrán-Portillo, B. y Rebollar, R. S. *La ganadería en condiciones de trópico seco. El caso del sur del Estado de México. Condiciones actuales y perspectivas de desarrollo*. Universidad Autónoma del Estado de México. Estado de México, México. 203-216.
- 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.
- Borboa-Ceverino, M., G., y Aguirre-Jaramillo, A. Y. T. 2018. Análisis socioeconómico de la ganadería doble propósito en el sur del estado de México para identificar oportunidades de desarrollo. Tesis de Licenciatura. Departamento de Producción Animal. Centro Universitario UAEM Temascaltepec. Universidad Autónoma del Estado de México. México. 81 pp.
- Braña-Varela, D., Méndez-Medina, D., Delgado-Suárez, E., Rubio-Lozano, M., S. 2013. Sistemas de producción y calidad de carne Bovina. *Engormix*. 1-12. <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/sistemas-produccion-calidad-carne-t32696.htm>.

Cortés, H., Aguilar, C., y Vera, R. 2003. Sistemas bovinos doble propósito en el trópico bajo colombiano, de Colombia. Modelo de simulación. Archivos de Zootecnia. 52 (197): 25-34. <https://www.redalyc.org/pdf/495/49519703.pdf>.

de decisiones en la promoción de nuevas alternativas forrajeras: el caso de Costa Rica y Perú. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal 2002. 10 (1): 35-45.

<https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/44299/100107.pdf?sequence=1>.

Esparza-Jiménez, S., González-Ronquillo, M., García-Martínez, A., Vázquez-Armijo, J. F., Arriaga-Jordán, C. M. y Albarrán-Portillo. B. (2021). Rendimiento de leche derivado de energía y proteína de vacas en pastoreo recibiendo suplementos en un sistema agrosilvopastoril. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias. 12 (1): 87-104.

FAO. 2018. Perspectivas alimentarias. Disponible en <http://www.fao.org/3/CA0910ES/ca0910es.pdf>. Consultado: octubre de 2022.

Faria-Mármol, J. 2006. Manejo de pastos y forrajes en la ganadería de doble propósito. 10 Seminario de Pastos y Forrajes. Universidad de Zulia, Venezuela, 1-9.

Financiera Rural. 2009. Bovinos y sus derivados. Disponible en <http://www.gbcbiotech.com/bovinos/industria/Bovino%20y%20sus%20derivados%20Financiera%20Rural%202012.pdf> 6-18. Consultado: octubre de 2022.

García-Martínez A, Albarrán-Portillo, B. y Avilés-Nova, F. 2015. Dinámicas y tendencias de la ganadería doble propósito en el sur de estado de México. Agrociencia. 49: 125-139.

García-Martínez, A. 2008. Dinámica reciente de los sistemas de vacuno en el Pirineo Central y evaluación de sus posibilidades de adaptación al entorno socioeconómico. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza, España. 293 pp.

- 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.
- Garmendia, J. 2005. Suplementación estratégica de vacas doble propósito alrededor del parto. IX Seminario de Pastos y Forrajes. Disponible en: [http://www.avpa.ula.ve/eventos/ix\\_seminario\\_pastosyforraje/Conferencias/C8-JulioGarmendia.pdf](http://www.avpa.ula.ve/eventos/ix_seminario_pastosyforraje/Conferencias/C8-JulioGarmendia.pdf). Consultado: octubre de 2022.
- Gasque-Gómez, R., Posadas-Manzano, E., 2008. Manual de normas y datos técnicos en ganado lechero. AMMVEB A.C. 125 pp.
- 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.* 26 (4): 125-136.
- Hernández-Sampieri. R.; Fernández, C. C. y Baptista, L. P. (2004). Metodología de la investigación. 3ª ed. McGraw-Hill Interamericana. México. 705 pp.
- Holmann, F., 2000. El uso de modelos de simulación como herramienta para la toma
- LACTODATA. 2018. Producción de leche. información. Disponible en. [http://www.lactodata.info/docs/ind/lacto\\_ind\\_prod.pdf](http://www.lactodata.info/docs/ind/lacto_ind_prod.pdf). Consultado: octubre de 2022.
- LACTODATA. 2019. Precio de la garantía. Información y datos. Disponibles en: [file:///F:/DOC.%20Benito/1.Lactodata precio garantia 5-Feb-19..pdf](file:///F:/DOC.%20Benito/1.Lactodata%20precio%20garantia%205-Feb-19..pdf) 1-16. Consultado: octubre de 2022.
- Magaña-Monforte. J., G., y Silva-Mena, C. 2009. Algunas consideraciones para el mejoramiento de los sistemas de producción de ganado doble propósito.

Bioagrocencias. 2 (1): 16-22.  
<https://www.ccba.uady.mx/bioagro/V2N1/V2%20N1.pdf>.

Magaña-Monforte., 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. Arch. Latinoam. Prod. Anim. 14 (3): 105-114. <http://www.bioline.org.br/pdf?la06019>.

Manzanares-López, E. G. 2018. Utilización de modelos de simulación para la gestión y manejo de ganado bovino doble propósito en condiciones de trópico seco. Tesis de Licenciatura. Departamento de Producción Animal. Centro Universitario UAEM Temascaltepec. 84 pp.

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., Piedra-Matías, R., Albarrán-Portillo, B., Rebollar-Rebollar y García-Martínez, A. 2016. Changes in dual purpose livestock farming system in the dry tropic of estado de Mexico. Agrociencia. 50: 701-710.

Nava, R. M., Urdate, F., Casanova, A., 2009. Comportamiento económico y financiero de sistemas de ganadería de doble propósito. Revista Científica. XIX (4): 356-365. <https://www.redalyc.org/pdf/959/95911613007.pdf>.

Ochoa, G. P. 1991. Mejoramiento genético del ganado bovino productor de leche. Ciencia Veterinaria. 5: 67-88.  
<https://www.fmvz.unam.mx/fmvz/cienciavet/revistas/CvVol5/CVv5c4.pdf>.

PDMT. 2007. Plan municipal de desarrollo urbano de Tejupilco. Disponible en: [http://seduv.edomexico.gob.mx/planes\\_municipales/tejupilco/ModDocTejupilco.pdf](http://seduv.edomexico.gob.mx/planes_municipales/tejupilco/ModDocTejupilco.pdf). Consultado: octubre de 2022.

Pérez-Arellano, J. 2016. Evaluación económica de unidades de producción de leche doble propósito en el municipio de Tlatlaya, estado de México.

Piedra-Matías, R., Hernández-Dimas, G., Albarrán-Portillo, B., Rebollar, R. S y García-Martínez, A. 2011. Tipología de las explotaciones de ganado bovino en el

- Municipio de Tejupilco, Estado de México. En: La ganadería ante el agotamiento de los paradigmas dominantes. Beatriz A. Cavallotti Vázquez., Benito Ramírez Valverde., Francisco Ernesto Martínez Castañeda., Carlos F. Marcof Álvarez y Alfredo Cesín Vargas. lumen 2. 205-218.
- Riojas, I., Badii, M., H., Guillen, A., García, M. y Abreu, J. L. 2018. La ganadería y el desarrollo sustentable. Daena: International Journal of Good Conscience. 13 (2): 77-102. [http://www.spentamexico.org/v13-n2/A5.13\(2\)77-102.pdf](http://www.spentamexico.org/v13-n2/A5.13(2)77-102.pdf).
- Rodríguez-Mejía, S., Flores-Sánchez, D., León-Merino, A., Pérez-Hernández, L., M., Aguilar-Ávila, J. 2018. Diagnóstico de sistema de producción bovinos para carne en Tejupilco estado de México. Revista mexicana de Ciencias Agrícolas. 9 (2): 465-471. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v9n2/2007-0934-remexca-9-02-465-en.pdf>.
- 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.
- Ruiz, O., Oregui, L.M. 2001. El enfoque sistémico en el análisis de la producción animal: revisión bibliográfica. Invest. Agr. Prod. Sanid. Anim. 16 (1): 23-45.
- SAGARPA. 2007. Programa sectorial de desarrollo agropecuario y pesquero Información. Disponible en: <http://www.oleaginosas.org/archivos/Programa%20sectorial%202007-2012.pdf>. Consultado: octubre de 2022.
- SAGARPA. 2015. Sistemas de producción de carne y leche de bovino. Disponible en: <http://www.anetif.org/files/pages/0000000034/18-sistemas-de-produccion-y-calidad-de-carne-bovina.pdf>. Consultado: octubre de 2022.
- SAGARPA. 2018a. Información estadística de la producción ganadera nacional <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-pecuaria>. Consultado: octubre de 2022.

- SAGARPA. 2018b. Crece la producción de leche en México. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/colima/articulos/crece-la-produccion-de-leche-en-mexico-sagarpa-158944?idiom=es>. Consultado: octubre de 2022.
- Salas-Reyes, I. G., Arriaga-Jordán, C. M., Estrada-Flores, J. G., García-Martínez, A. y Albarrán-Portillo, B. 2017. Evaluación económica de la utilización de suplementos en la alimentación de vacas de doble propósito en el suroeste del Estado de México. En: Beatriz Aurelia Cavallotti, V. B. A., José Alfredo Cesín, V. J. A. y Ramírez, V. B. Estudios sociales y económicos de la producción pecuaria. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, Estado de México, México. 149-160.
- Sánchez-Gómez, J. I. 2003. Unidad 2. Zootecnia de bovinos productores de carne. Disponible en: [https://fmvz.unam.mx/fmvz/p\\_estudios/apuntes\\_zoo/unidad\\_2\\_bovinoscarne.pdf](https://fmvz.unam.mx/fmvz/p_estudios/apuntes_zoo/unidad_2_bovinoscarne.pdf). Consultado: octubre de 2022.
- SIAP. (2020). Resumen Nacional. Avance mensual de la producción pecuaria. Disponible en: [http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance\\_siap\\_gb/pecResumen.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecResumen.jsp). Consultado: octubre de 2022.
- Soares de lima-Lapetina, J. M. 2009. Modelo bioeconómico para la evaluación del impacto de la genética y otras variables, sobre la cadena cárnica vacuna en Uruguay. Tesis de Licenciatura. Universidad Politécnica de Valencia. 240 pp.
- Vences- Pérez, J., Morales-Almaraz, E., Martínez-García, C. G., Albarrán-Portillo, B. y *García-Martínez, A.* (2017). Importancia del cultivo de maíz en ganadería doble propósito en Tlatlaya, Estado de México. Eficiencia energética y sustentabilidad. En: Beatriz Aurelia Cavallotti, V. B. A., José Alfredo Cesín, V. J. A. y Ramírez, V. B. Estudios sociales y económicos de la producción pecuaria. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, Estado de México, México. 135-148.

Villalba-Mata, D., 2000. Construcción y utilización de un modelo estocástico para la simulación de estrategias de manejo invernal en rebaños de vacas nodrizas. Tesis de Doctorado. Departament de Producció Animal. Universitat de Lleida. Barcelona, España. 170 pp.

## ANEXOS

### Anexo 1. Modelo en la plataforma mosel del programa Xpress MP

**File Edit View Build Deploy Modules Window Help**

tejupilco tejupilco

**(C:\Users\vp\Desktop\Cuari**

- Parameters
- Constants
- Primitives
  - scalars:
    - re maxmaqtotal
    - re maxpaszi
    - re maxtierra
    - re maxvaca
    - re minpastizal
- arrays:
- sets:
- Decision Variables
  - arrays:
- Constraints
  - scalars:
- Subroutines

**ENTRIBES**

```

MATRICES PARA EL MODELO UNO punto uno

nec_anim:[4929 1170 5746 1365 0 0 3757 1288] !Requerimientos totales de Las vacas en E
nec_reposprop:[2135 540 0 0 0 0 2226 552] !Requerimientos totales de n1 propia
nec_reposn2:[2371 900 2267 728 0 0 2423 920] !Requerimientos totales de n2 propia en E
disp_ppn:[3.156 0 6.524 0
          0 2.347 0 4.851
          0 0 0 0] !Disponibilidad de heno y silo en PP,
disp_pasto:[0 0 0 3.743 0 0 0 0 0 7.485 0 0
            0 0 0 0 3.463 0 0 0 0 0 6.925 0
            0 0 1.64 0 0 4.935 0 0 0 0 0 3.285] !Disponibilidad de pasto en PP, PN, p
disp_pastozzi:[0 3.015 0 1.505] !Disponibilidad de pasto en ZI, e
comp_prop:[3689 870
           3629.5 870
           1854 300
           1557 300] !Composición en EN y MS del silo y heno de PP y PN, e
comp_pasto:[996 996 996
            200 200 200] !Composición en EN y MS del pasto en PP, PN y pastiza
comp_pastozzi:[925 200] !Composición en EN y MS del pasto en ZI, expresaa
comp_buy:[4094 920
          6844.1 890] !Composición en EN y MS de Los alimentos comprado
animal_nacido:[0.49 0.49] !Proporción de ternero y ternera nacidos por vaca
    
```

File Edit View Build Deploy Modules Window Help

tejupilco tejupilco

(C:\Users\hvp\Desktop\Cuar

- Parameters
- Constants
- Primitives
  - scalars:
    - re maxmaqtotal
    - re maxpaszi
    - re maxtierra
    - re maxvaca
    - re minpastizal
  - arrays:
  - sets:
- Decision Variables
  - arrays:
- Constraints
  - scalars:
- Subroutines

ter\_reposprop:[0 0.335] *!Proporción de n1 propia para repocisión en funci*

nov\_reposprop:[0.995] *!Porcentaje de novillas de 2 años en función de L*

ter\_producto:[0.553 0 0.3591] *!Proporción de mamónm y mamónh vendido por ternero*

ter\_cebo:[0.40 0 0.3059] *!PROPORCIÓN DE MACHO CEBADO EN FUNCIÓN DE MAMÓN*

ter\_cebo\_ven:[0.55 0 0.55] *!PROPORCIÓN DE TERNEROS CEBADOS VENDIDOS*

mo\_animal:[3.05 5.88 2 2.5] *!Mano de obra reqierida por vaca por estación, expres*

mo\_ternerros:[0 6.9 0.5 0 0 6.9 0.5 0] *!Mano de obra reqierida por ternero (a)por estaci*

mo\_reposprop:[3.05 0 0 2.5] *!Mano de obra reqierida por n1 propia, expresado en h*

mo\_reposn2:[3.05 1.88 0.5 2.5] *!Mano de obra reqierida por n1 propia, expresado en h*

mo\_cebo:[2.5 0 0 2.5 2.5 0 2.5] *!MANO DE OBRA REQUERIDA PARA EL MANEJO DE TERNER*

mo\_tierra:[7.94 9.21 7.51 0 5.5 1.14 11.51 0 0 0 0] *!Mano de obra requerida para PP, PN y pastizal po*

maq\_tierra:[6.65 4.99 4.71 2 4.58 0 4.71 2 0 0 0] *!Maquinaria reuquerida para PP, PN y pastizal por*

Entities

Started running C:\Users\hvp\Desktop\Cuarto semestre\Modelos municipios\Modelos Tejupilco\TEJUPILCO 2022\3.4.1. Escenario 1 (Original)\tejupilco

Xpress-IVE: Model run complete

Build Search

File Edit View Build Deploy Modules Window Help

tejupilco tejupilco

(C:\Users\hvp\Desktop\Cuar

- Parameters
- Constants
- Primitives
  - scalars:
    - re maxmaqtotal
    - re maxpaszi
    - re maxtierra
    - re maxvaca
    - re minpastizal
  - arrays:
  - sets:
- Decision Variables
  - arrays:
- Constraints
  - scalars:
- Subroutines

maxtierra:[22.88] *!Disponibilidad máxima de tierra expresada en hec*

minpastizal:[9.18] *!Disponibilidad mínima de pastizal expresado en h*

maxpaszi:[9.22]

maxvaca:[13] *!Disponibilidad máxima de vacas*

maxmo:[502.97 1325.53 263.24 428.23] *!Disponibilidad máxima de mano de obra por estaci*

maxmaq:[0 0 0 0] *!Disponibilidad máxima de maquinaria expresada en horas por e*

maxmaqtotal:[0] *!Disponibilidad máxima de maquinaria total año, expresada en*

c\_tierra:[6742.7 8324 1250] *!Coste, ingreso y subvenciones de PP, PN y pastiz*

c\_animal:[552.24 5073 2050] *!Coste, ingreso y subvenciones por vaca, expresado en*

c\_terberos:[2005 0 0] *!Coste, ingreso y subvenciones por ternero (a), expresado en*  
 1838 0 0]

c\_reposprop:[6209.72 0 0] *!Coste, ingreso y subvenciones por n1 propia, expresa*

c\_reposn2:[6178.7 0 0] *!Coste, ingreso y subvenciones por n2 propia, expresado e*

c\_cebo:[6205 0 0] *!Coste, ingreso y subvenciones por TERNERO CEBADO, expres*  
 6038 0 0]

c\_prodpppn:[0 0 0] *!Coste, ingreso y subvenciones del heno y silo en PP y PN*  
 0 0 0  
 0 0 0  
 0 0 0]

Entities

Started running C:\Users\hvp\Desktop\Cuarto semestre\Modelos municipios\Modelos Tejupilco\TEJUPILCO 2022\3.4.1. Escenario 1 (Original)\Tejupilco

Xpress-IVE: Model run complete

Build Search

File Edit View Build Deploy Modules Window Help

tejupilco tejupilco

(C:\Users\hvp\Desktop\Cuar

- Parameters
- Constants
- Primitives
  - scalars:
    - re maxmaqtotal
    - re maxpaszi
    - re maxtierra
    - re maxvaca
    - re minpastizal
  - arrays:
  - sets:
- Decision Variables
  - arrays:
- Constraints
  - scalars:
- Subroutines

Entities

```

c_pasto: [0.3 0 0      !Coste, ingreso y subvenciones del pasto en PP, PN y pastizal
          0.3 0 0
          0.3 0 0]

c_paszi: [0.3 0 0]      !Coste, ingreso y subvenciones del pasto en ZI expresada en €

c_alimbuy: [0 0 0      !Coste, ingreso y subvenciones de La alfalfa y concentrado, expre
           6 0 0]

vaca_desvieje: [0.15]   !Porcentaje de desvieje-ventas

c_puerto: [0 0 0]      !Coste, ingreso y subvenciones por el aprovechamiento del pue

c_puertoprop: [0 0 0]   !Coste, ingreso y subvenciones por el aprovechamiento del pue

c_puertopropn2: [0 0 0] !Coste, ingreso y subvenciones por el aprovechamiento del pue

i_producto: [0 10074 0   !Coste, ingreso y subvenciones de mamón macho, mamón hembra,
            0 8064.36 0]

i_desvieje: [0 9900 0]  !Coste, ingreso y subvenciones de vaca de desvieje, expresado

i_cebo: [0 26100 0     !Coste, ingreso y subvenciones por TERNERO CEBADO, expresado en €
        0 20880 0]

```

Started running C:\Users\hvp\Desktop\Cuarto semestre\Modelos municipios\Modelos Tejupilco\TEJUPILCO 2022\3.4.1. Escenario 1 (Original\Tejupilco

Xpress-IVE: Model run complete

Build Search

















File Edit View Build Deploy Modules Window Help

tejupilco tejupilco

(C:\Users\hvp\Desktop\Cuar

- Parameters
- Constants
- Primitives
  - scalars:
    - re maxmaqtotal
    - re maxpaszi
    - re maxtierra
    - re maxvaca
    - re minpastizal
  - arrays:
  - sets:
  - Decision Variables
    - arrays:
  - Constraints
    - scalars:
  - Subroutines

Entities

declarations

```

nec_anim: array ( ANIMAL,ESTACION,COMPALIM ) of real      !vaca,n1prop,n2pr
nec_reposprop: array ( REPOSROP,ESTACION,COMPALIM ) of real      !vaca,n1p
nec_reposn2: array ( REPOSn2,ESTACION,COMPALIM ) of real      !vaca,n1prop,
animal_nacido: array ( ANIMAL, TERNEROS) of real
ter_reposprop: array ( TERNEROS, REPOSROP) of real
nov_reposprop: array ( REPOSROP,REPOSn2 ) of real
ter_producto: array ( TERNEROS, PRODUCTO) of real
ter_cebo: array ( TERNEROCEBO,TERNEROS) of real
ter_cebo_ven: array ( CEBO, TERNEROCEBO) of real
disp_pppn: array ( TIERRA,PRODUCCIONPPPN ) of real      !PP,PN y pastizal
disp_pasto: array ( TIERRA,ESTACION,PRODUCCIONPAST) of real      !Producción de pa
disp_pastozzi: array ( PASZI,ESTACION) of real
comp_prop: array ( PRODUCCIONPPPN,COMPALIM ) of real      !Es la composició
comp_pasto: array ( COMPALIM,PRODUCCIONPAST ) of real      !Producción de pa
comp_buy: array ( ALIMBUY,COMPALIM ) of real      !alfalfa y concen
comp_pastozzi: array ( PASZI,COMPALIM) of real
vaca_desvieje: array ( ANIMAL,DESVIEJE) of real      !RELACIONAMOS ANI
mo_animal: array ( ANIMAL,ESTACION ) of real      !disponibilidad a
mo_terneros: array ( TERNEROS,ESTACION ) of real      !disponibilia
mo_reposprop: array ( REPOSROP,ESTACION ) of real      !disponibilia
mo_reposn2: array ( REPOSn2,ESTACION ) of real      !disponibilidad a
mo_cebo: array ( TERNEROCEBO,ESTACION) of real
mo_tierra: array ( TIERRA,ESTACION ) of real      !disponibilidad a
maq_tierra: array ( TIERRA,ESTACION ) of real      !maquinaria requere
c_tierra: array ( TIERRA,INGREEGRE ) of real      !costes, ingresos
c_animal: array ( ANIMAL,INGREEGRE ) of real      !costes, ingresos
c_terneros: array ( TERNEROS,INGREEGRE ) of real      !costes, ingr
c_reposprop: array ( REPOSROP,INGREEGRE ) of real      !costes, ingr
c_cebo: array ( TERNEROCEBO,INGREEGRE) of real
c_reposn2: array ( REPOSn2,INGREEGRE ) of real      !costes, ingresos
c_prodpppn: array ( PRODUCCIONPPPN,INGREEGRE ) of real      !costes, ingresos
c_pasto: array ( PRODUCCIONPAST,INGREEGRE ) of real      !costes, ingresos

```

Started running C:\Users\hvp\Desktop\Cuarto semestre\Modelos municipios\Modelos Tejupilco\TEJUPILCO 2022\3.4.1. Escenario 1 (Original)\Tejupilco

Xpress-IVE: Model run complete

Build Search

Ready Free Memory: 2047 M









File Edit View Build Deploy Modules Window Help

tejupilco tejupilco

(C:\Users\hvp\Desktop\Cuar

- Parameters
- Constants
- Primitives
  - scalars:
    - re maxmaqtotal
    - re maxpaszi
    - re maxtierra
    - re maxvaca
    - re minpastizal
- arrays:
- sets:
- Decision Variables
  - arrays:
- Constraints
  - scalars:
- Subroutines

```

!LIMITAR LA DISPONIBILIDAD DE HENO Y SILO -----
forall ( ppn in PRODUCCIONPPPN)
sum (e in ESTACION) use_prodppn (ppn, e)= sum ( t in TIERRA)uso_tierra (t)*disp_ppn

!LIMITAR LA DISPONIBILIDAD DE PASTO EN ZONAS INTERMEDIAS-----
!-----
sum (pas in PASZI) use_paszi (pas) <= maxpaszi

!PRODUCCIÓN DE HENO Y SILO EN TONELADAS PARA CADA TIPO DE CULTIVO

produchenopp:= sum(t in TIERRA) uso_tierra ("PP") * disp_ppn (t,"henopp")
produchenopn:= sum(t in TIERRA) uso_tierra ("PN") * disp_ppn (t,"henopn")
producsilopp:= sum(t in TIERRA) uso_tierra ("PP") * disp_ppn (t,"silopp")
producsilopn:= sum(t in TIERRA) uso_tierra ("PN") * disp_ppn (t,"silopn")

!PRODUCCIÓN DE PASTO POR ESTACIÓN EN TONELADAS DE MATERIA FRESCA

prodpastoppprim:= sum (t in TIERRA) uso_tierra ("PP")* disp_pasto (t,"prim","pastopp")
prodpastoppoto:= sum (t in TIERRA) uso_tierra ("PP")* disp_pasto (t,"oto","pastopp")
prodpastopnprim:= sum (t in TIERRA) uso_tierra ("PN")* disp_pasto (t,"prim","pastopn")
prodpastopnoto:= sum (t in TIERRA) uso_tierra ("PN")* disp_pasto (t,"oto","pastopn")
prodpastizalinv:= sum (t in TIERRA) uso_tierra ("pastizal")* disp_pasto (t,"inv","pas
prodpastizalprim:= sum (t in TIERRA) uso_tierra ("pastizal")* disp_pasto (t,"prim","p
prodpastizaloto:= sum (t in TIERRA) uso_tierra ("pastizal")* disp_pasto (t,"oto","pas

!PRODUCCIÓN DE PASTO EN ZONAS INTERMEDIAS POR ESTACIÓN EN TONELADAS DE MATERIA FRESCA

prodpasziprim:= sum (pas in PASZI) use_paszi (pas)* disp_pastoz (pas,"prim")
prodpaszioto:= sum (pas in PASZI) use_paszi (pas)* disp_pastoz (pas,"oto")

```

Entities

Started running C:\Users\hvp\Desktop\Cuarto semestre\Modelos municipios\Modelos Tejupilco\TEJUPILCO 2022\3.4.1. Escenario 1 (Original)\tejupilco

press-IVE: Model run complete

Build Search











Xpress-IVE - [tejupilco]

File Edit View Build Deploy Modules Window Help

tejupilco tejupilco

(C:\Users\hvp\Desktop\Cuar...

- Parameters
- Constants
- Primitives
  - scalars:
    - re maxmaqtotal
    - re maxpaszi
    - re maxtierra
    - re maxvaca
    - re minpastizal
  - arrays:
  - sets:
- Decision Variables
  - arrays:
- Constraints
  - scalars:
- Subroutines

```

/INGRESOS-----
forall (a in ANIMAL)
INGRESOS:= sum(p in PRODUCTO, te in TERNEROS) animal_nacido (a,te)*ter_producto (te,p) *
sum(p in PRODUCTO, te in TERNEROS) animal_nacido (a,te)*ter_producto (te,p) * i_p
sum (d in DESVIEJE) tamano_rebano (a)* vaca_desvieje (a,d)*i_desvieje (d,"ingreso
sum (d in DESVIEJE) tamano_rebano (a)* vaca_desvieje (a,d)*i_desvieje (d,"subvenc
c_animal (a,"subvenciones")* tamano_rebano (a)+
sum(cb in CEBO, te in TERNEROS, tc in TERNEROCEBO) animal_nacido (a,te)*ter_cebo
sum(cb in CEBO, te in TERNEROS, tc in TERNEROCEBO) animal_nacido (a,te)*ter_cebo
sum (t in TIERRA) c_tierra (t, "subvenciones") * uso_tierra (t)

/COSTES-----
forall (a in ANIMAL)
costevaca:= c_animal (a,"coste")* tamano_rebano (a)
forall (a in ANIMAL)
costeternero:= sum (te in TERNEROS) tamano_rebano (a) * animal_nacido (a,te) * c_ternero
forall (a in ANIMAL)
costerepos:= sum (rp in REPOSPROP, te in TERNEROS) tamano_rebano (a) * animal_nacido (a,t
forall (a in ANIMAL)
costereposn2:= sum (rp in REPOSPROP, te in TERNEROS, rpn in REPOSn2) tamano_rebano (a) *
costetierra:= sum (t in TIERRA) c_tierra (t,"coste")* uso_tierra (t)
costepppn:= sum (t in TIERRA, ppn in PRODUCCIONPPPN)c_prodpppn (ppn,"coste") * disp_pppn
costepast:= sum (t in TIERRA, pa in PRODUCCIONPAST, e in ESTACION) c_pasto (pa, "coste")
costealimbuy:= sum (al in ALIMBUY, e in ESTACION)c_alimbuy (al,"coste")* alim_comprada (a
costepaszi:= sum (pas in PASZI,e in ESTACION ) c_paszi (pas,"coste")* use_paszi (pas)
forall (a in ANIMAL)
costepuertovaca:= c_puerto (a,"coste") * tamano_rebano (a)
forall (a in ANIMAL)
costepuertorepos:= sum (rp in REPOSPROP,te in TERNEROS) tamano_rebano (a) * animal_nacido
forall (a in ANIMAL)
costepuertoreposn2:= sum (rp in REPOSPROP,te in TERNEROS, rpn in REPOSn2) tamano_rebano (
forall (a in ANIMAL)
costescebo:= sum(te in TERNEROS, tc in TERNEROCEBO) animal_nacido (a,te)*ter_cebo (tc,te)

```

Entities

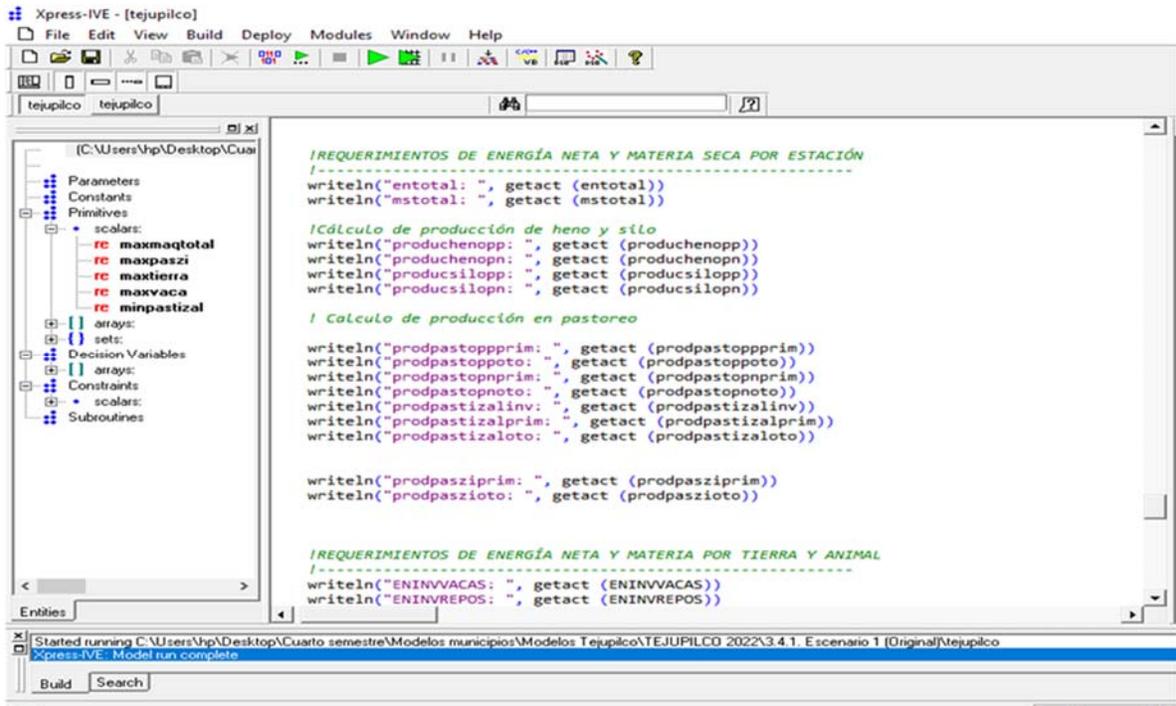
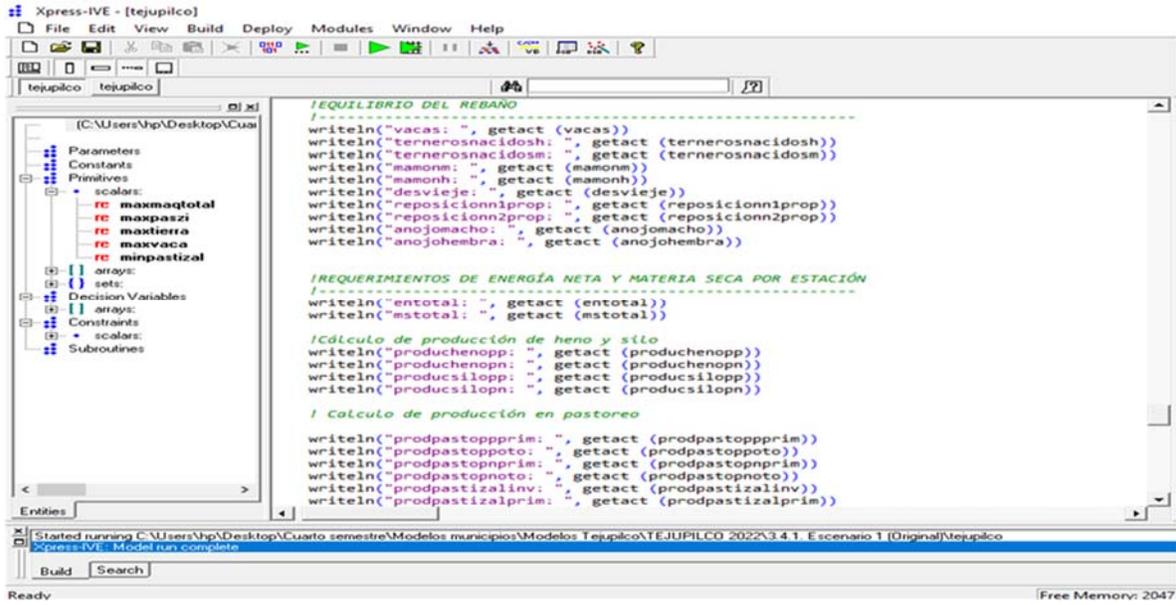
Started running C:\Users\hvp\Desktop\Cuarto semestre Modelos municipios Modelos Tejupilco\TEJUPILCO 2022\3.4.1. E.scenario 1 (Original)\tejupilco  
Xpress-IVE: Model run complete

Build Search

Ready Free Memory: 2047 M







tejuapico tejuapico

[C:\Users\hvp\Desktop\Cuar

- Parameters
- Constants
- Primitives
  - scalars:
    - re maxmaqtotal
    - re maxpaszi
    - re maxtierra
    - re maxvaca
    - re minpastizal
  - arrays:
    - sets:
- Decision Variables
  - arrays:
- Constraints
  - scalars:
- Subroutines

```

IREQUERIMIENTOS DE ENERGÍA NETA Y MATERIA POR TIERRA Y ANIMAL
!-----
writeln("ENINVACAS: ", getact (ENINVACAS))
writeln("ENINVREPOS: ", getact (ENINVREPOS))
writeln("ENINVREPOSn2: ", getact (ENINVREPOSn2))
writeln("MSINVACAS: ", getact (MSINVACAS))
writeln("MSINVREPOS: ", getact (MSINVREPOS))
writeln("MSINVREPOSn2: ", getact (MSINVREPOSn2))

writeln("ENPRIMVACAS: ", getact (ENPRIMVACAS))
writeln("ENPRIMREPOS: ", getact (ENPRIMREPOS))
writeln("ENPRIMREPOSn2: ", getact (ENPRIMREPOSn2))
writeln("MSPRIMVACAS: ", getact (MSPRIMVACAS))
writeln("MSPRIMREPOS: ", getact (MSPRIMREPOS))
writeln("MSPRIMREPOSn2: ", getact (MSPRIMREPOSn2))

writeln("ENOTOVACAS: ", getact (ENOTOVACAS))
writeln("ENOTOREPOS: ", getact (ENOTOREPOS))
writeln("ENOTOREPOSn2: ", getact (ENOTOREPOSn2))
writeln("MSOTOVACAS: ", getact (MSOTOVACAS))
writeln("MSOTOREPOS: ", getact (MSOTOREPOS))
writeln("MSOTOREPOSn2: ", getact (MSOTOREPOSn2))

```

[C:\Users\hvp\Desktop\Cuar

- Parameters
- Constants
- Primitives
  - scalars:
    - re maxmaqtotal
    - re maxpaszi
    - re maxtierra
    - re maxvaca
    - re minpastizal
  - arrays:
  - sets:
- Decision Variables
  - arrays:
- Constraints
  - scalars:
- Subroutines

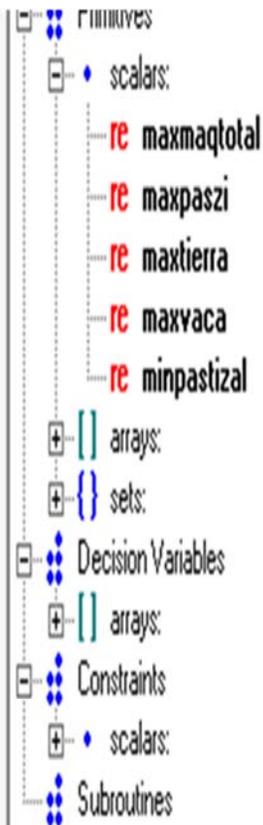
```

IREQUERIMIENTOS DE MANO DE OBRA POR ESTACIÓN
!-----
writeln("necmotinv: ", getact (necmotinv))
writeln("necmotprim: ", getact (necmotprim))
writeln("necmotver: ", getact (necmotver))
writeln("necmototo: ", getact (necmototo))

IREQUERIMIENTOS DE MANO DE OBRA TOTAL
!-----
writeln("necmottotal: ", getact (necmottotal))

IREQUERIMIENTOS DE MANO DE OBRA POR ACTIVIDAD Y ESTACIÓN
!-----
writeln("necmoaninv: ", getact (necmoaninv))
writeln("necmotieinv: ", getact (necmotieinv))
writeln("necmoanprim: ", getact (necmoanprim))
writeln("necmotieprim: ", getact (necmotieprim))
writeln("necmoanver: ", getact (necmoanver))
writeln("necmotiever: ", getact (necmotiever))
writeln("necmoanoto: ", getact (necmoanoto))
writeln("necmotieoto: ", getact (necmotieoto))

```



```

!REQUERIMIENTOS DE MAAQUINARIA PARA LA TIERRA POR ESTACIÓN
!-----
writeln("necmaqtinv: ", getact (necmaqtinv))
writeln("necmaqtprim: ", getact (necmaqtprim))
writeln("necmaqtver: ", getact (necmaqtver))
writeln("necmaqtoto: ", getact (necmaqtoto))

```

```

!REQUERIMIENTOS DE MAAQUINARIA PARA LA TIERRA POR ESTACIÓN
!-----
writeln("necmaqttotal: ", getact (necmaqttotal))

```

```

model

```