



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TEMASCALTEPEC



LICENCIATURA EN INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

**EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD Y DINÁMICA DE UN SISTEMA
SILVOPASTORIL INTENSIVO PARA PRODUCCIÓN DE LECHE EN TRÓPICO SECO**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

PRESENTA

PERLA BAHENA HERNÁNDEZ

ASESOR

DR. en C.A.R.N. ANASTACIO GARCÍA MARTÍNEZ

Co-ASESOR.

Ph. D. BENITO ALBARRÁN PORTILLO

TEMASCALTEPEC, ESTADO DE MÉXICO; OCTUBRE DE 2023.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA.....	iii
ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
I. INTRODUCCIÓN	11
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	13
2.1. Importancia de la ganadería en México	13
2.2. Sistemas de producción bovina en México	13
2.2.1. Sistema de producción extensivo.....	14
2.2.2. Sistema de producción intensivo.....	14
2.2.3. Sistema de producción semi-intensivo	15
2.3. Sistemas de producción de leche	15
2.3.1. Sistema de producción estabulado.....	15
2.3.2. Sistema de producción semiestabulado	16
2.3.3. Sistema de producción familiar o de traspatio.....	16
2.4. Sistema de producción de doble propósito	17
2.4.1. Alimentación del ganado doble propósito.....	18
2.5. Sistemas agroforestales.....	19
2.5.1 Sistema silvopastoril.....	19
Cercas vivas.....	20

Bancos forrajeros	21
Cortinas rompevientos	22
2.5.3. <i>Beneficios de los sistemas silvopastoriles</i>	22
2.5.4. <i>Desventajas de los sistemas silvopastoriles</i>	24
2.6. Importancia de las especies arbóreas de leguminosas en la alimentación de bovinos.....	25
2.6.1. <i>Plantas que se pueden utilizar para forraje</i>	27
2.6.2. <i>Uso y aprovechamiento de Leucaena leucocephala (Leucaena)</i>	27
2.7. Producción de leche en sistemas silvopastoriles	29
2.8. Calidad de leche	30
III. JUSTIFICACIÓN	32
IV. HIPÓTESIS	33
V. OBJETIVOS.....	34
5.1. General	34
5.2. Específicos.....	34
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	35
6.1. Localización de zona de estudio	35
6.2. Manejo de los animales y potreros	37
6.4. Producción de leche.....	39
6.6. Composición de la leche	39
6.6. Análisis económico financiero	39
VII. RESULTADOS	41
7.1. Características estructurales de la UP	41
VIII. DISCUSIÓN	58

IX. CONCLUSIONES	61
X. RECOMENDACIONES	62
AGRADECIMIENTOS	63
XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Comparación de las principales características de un sistema de producción ganadera con pastos mejorados y asociado con <i>Leucaena leucocephala</i> a baja y alta densidad.....	26
Cuadro 2. Características de la UP bajo manejo de SSPi en Apatzingán, Michoacán, México y costos de puesta en marcha	37
Cuadro 3. Cambios en la temperatura (°C) y precipitación (mm) en la zona de estudio en las fechas 2017 vs 2023.....	41
Cuadro 4. Características estructurales y técnicas de la UP.....	43
Cuadro 5. Composición nutricional de leche de BDP en la UP bajo SSPi.....	46
Cuadro 6. Composición nutricional de leche de vacas DP en la UP bajo SSPi.....	47
Cuadro 7. Inversión fija de la UP bajo manejo de SSPi en Apatzingán, Michoacán, México para 2019 (Año 3)	49
Cuadro 8. Características estructurales de la UP a través del tiempo de actividad.....	50
Cuadro 9. Cambios experimentados por la UP durante los tres años de evaluación ...	51
Cuadro 10. Lista de precios de venta de ganado en canal.....	52
Cuadro 11. Análisis económico financiero de la UP en función de la carga ganadera (UA ha ⁻¹) en un SSPi	54
Cuadro 12. Relación de costos e ingresos	55
Cuadro 13. Cambios experimentados por la UP durante los tres años de evaluación (%)	56
Cuadro 14. Punto de equilibrio de la producción de carne y leche.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Condiciones meteorológicas del municipio de Apatzingán, Michoacán, México	35
Figura 2. Localización del Municipio de Apatzingán, estado de Michoacán.	36

RESUMEN

Se evaluó una unidad de producción de leche de vaca bajo un sistema silvopastoril intensivo en trópico seco. La actividad se llevó a cabo mediante seguimientos técnico-económicos de 6 años de actividad de la UP en tres años de evaluación (2015, 2017 y 2019). Se monitorearon variables productivas y económicas (producción y calidad de leche, ingresos y egresos) de 86.0, 154.0 y 50.0 vacas de raza Gyr, respectivamente para los años de evaluación, mediante estadística descriptiva y presupuestos por actividad. La carga animal fue 2.25, 4.62 y 1.33 UA ha⁻¹ año⁻¹. La producción promedio de leche fue de 9.15 kg vaca⁻¹ día⁻¹, el ingreso total de \$1,907,801.00, \$2,769,580.50 y 1,898,374.91, mientras que los costos de producción fueron de \$1,592,399.33, \$2,052,299.00 y \$1,182,206.66, mientras que el MB fue de \$315,401.67, \$717,281.50 y \$ 716,168.25 ingreso de \$1,352,175.25, respectivamente para los tres años de evaluación. Se concluye que en los tres años de evaluación la actividad fue rentable. Aunque durante el año dos de evaluación, si bien, todos los indicadores económicos presentaron un incremento considerable, fue en el año dos, con un ajuste de la carga ganadera, que se obtuvieron los mejores indicadores económicos y la conservación de los recursos de la UP.

Palabras clave: leche, doble propósito, evolución, rentabilidad, silvopastoreo.

ABSTRACT

A cow milk production unit under an intensive silvopastoral system in dry tropics was evaluated. The activity was carried out through technical-economic follow-ups of 6 years of activity of the UP in three years of evaluation (2015, 2017 and 2019). Productive and economic variables (milk production and quality, income and expenditure) of 86.0, 154.0 and 50.0 Gyr cows, respectively for the evaluation years, were monitored using descriptive statistics and budgets by activity. Stocking rates were 2.25, 4.62 and 1.33 AU ha⁻¹ year⁻¹. Average milk production was 9.15 kg cow⁻¹ day⁻¹, total income of \$1,907,801.00, \$2,769,580.50 and 1,898,374.91, while production costs were \$1,592,399.33, \$2,052,299.00 and \$1,182,206.66, while the MB was \$315,401.67, \$717,281.50 and \$716,168.25 income of \$1,352,175.25, respectively for the three years of evaluation. It is concluded that in all three years of evaluation the activity was profitable. Although during year two of the evaluation, although all the economic indicators showed a considerable increase, it was in year two, with an adjustment of the stocking rate, that the best economic indicators were obtained, and the resources of the UP were conserved.

Key words: milk, dual purpose, evolution, profitability, silvopastoralism.

I. INTRODUCCIÓN

México cuenta con una extensión territorial de 198 millones de hectáreas, de lo anterior, 145 millones de hectáreas correspondiente al 73% son destinadas para actividades agropecuarias, 30 millones de hectáreas para cultivos, 115 millones de hectáreas en agostaderos y 45 millones de hectáreas son de bosques y selvas (FAO, 2017).

El sistema de producción bovino de Doble Propósito se da en las zonas tropicales de América Latina bajo el sistema de uso de pastoreo extensivo (Vilaboa y Díaz, 2009) siendo una de las actividades más rentables del sector agropecuario para producir leche y carne. (Orantes *et al.*, 2010). En Latinoamérica, y principalmente en México, en los sistemas de ganadería doble propósito, los productores reciben ingresos económicos por el concepto de venta de carne y leche para el mercado local y regional (Vera *et al.*, 1994; Cortes *et al.*, 2003).

Para México, el sistema doble propósito en bovinos, es un sistema tradicional que proporciona el 25% de leche al mercado (Pérez *et al.*, 2003); por otro lado, la producción de carne consiste en la venta de becerros al destete (Gómez *et al.*, 1982; Escobar *et al.*, 1984; Anta *et al.*, 1989; Pérez *et al.*, 2001; Pech *et al.*, 2007).

Debido a la facilidad de adaptación del sistema de bovinos doble propósito en las zonas tropicales, es perceptible su renuencia a enfermedades, tanto en la producción de carne como de leche (Koppel *et al.*, 1984; Cunningham 1989; Cortes *et al.*, 2003; Vilaboa y Díaz 2009; Orantes *et al.*, 2010; Martínez *et al.* 2012; Román-Ponce *et al.*, 2013).

El tipo de ordeño utilizado en este sistema es ordeño manual y para incitar la bajada de leche, el ordeñador utiliza al becerro. En el sistema de bovinos doble propósito la alimentación se da por pastoreo extensivo, para la obtención de bovinos se da la cruce de las razas Bos indicus x Bos Taurus (F1) (Cebú x suizo; Cebú x holandés y Cebú x Simmental, y algunas más) (Orantes *et al.*, 2010). la forma de producción bajo este sistema ha sido catalogada como uno de los más rentables (Pech *et al.*, 2007).

Una buena práctica ganadera hace referencia a todas aquellas actividades de manejo, alimentación o sanidad que en conjunto logran que el animal esté confortable y en buen estado de salud y que asegure, además, que los recursos naturales no se vean expuestos a un peligro causado por dicha actividad (Cruz Morales et al., 2011).

El sistema silvopastoril puede ser utilizado como alternativa de producción pecuaria, dicho sistema se conforma por plantas leñosas perennes como arbustos y árboles que se relacionan con plantas forrajeras y herbáceas y animales bajo un sistema de manejo integral. Dicho sistema aumenta la productividad y el beneficio neto del sistema en un periodo de tiempo largo plazo (López-Vigoa *et al.*, 2017).

Pezo *et al.* (1992) señalaron que con las asociaciones de gramíneas con leguminosas es posible obtener de 9 a 13 kg de leche al día por vaca, aún sin recibir suplementación. Para que la respuesta en la producción de leche sea positiva, se ha fijado que las leguminosas deben de tener una presencia de al menos 0 a 30% de biomasa disponible en las praderas (Milera *et al.*, 1994).

Como se puede apreciar, gracias a los sistemas silvopastoriles se obtiene una mejora en cuanto a la producción de leche y carne aún sin suplementar al ganado, obteniendo beneficios a largo plazo. En función de lo anterior, el objetivo del trabajo fue evaluar el comportamiento productivo de una unidad de producción de bovinos doble propósito, bajo un sistema silvopastoril intensivo en el trópico seco.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia de la ganadería en México

De acuerdo al inventario bovino en México, se supera la cantidad de 31 millones de cabezas, de lo anterior el 33% está enfocado a los sistemas especializados, de lo cual el 19% corresponde a la producción de leche, el 14% a la producción de carne y el 67 % a los sistemas de doble propósito (SIAP-SAGARPA, 2006) en base a la Confederación Nacional de Organizaciones Ganaderas (CNG) en el país existen más de 800,000 productores dedicados a actividades pecuarias, de éstos aproximadamente 700,000 se dedican a la ganadería bovina con fines de producción leche y/o carne (Rocha, 2009); es por esto que la ganadería es una actividad con gran importancia económica y social.

La ganadería representa una estrategia de supervivencia para las familias campesinas, ya que constituye una fuente de dinero en efectivo en momentos de necesidad económica y además juega un papel importante en la cultura y capitalización de familias productoras pequeñas, medianas y ejidatarias (Marinidou y Jiménez, 2010).

La ganadería de doble propósito es practicada principalmente en la costa del golfo de México, lo cual abarca el 28.3 % del territorio nacional y cuenta con más del 40 % del inventario bovino (Pérez *et al.*, 2003). En los estados de Veracruz, Chiapas y Tabasco se encuentra el 80 % de la ganadería DP y el resto se encuentra disperso en los diferentes estados con clima subtropical (Rivas, 1992). Este sistema genera el 19.5 % de la producción nacional de leche y el 50 % de la producción de carne (INEGI, 2007).

2.2. Sistemas de producción bovina en México

Un sistema es un conjunto de componentes que interactúan para lograr un objetivo común. Tienen la capacidad de reaccionar juntos al ser impulsados por acciones externas. El sistema no se ve dañado por sus propios productos y tiene límites específicos de acuerdo con los mecanismos de retroalimentación significativos (Spedding, 1979).

Un sistema de producción animal se define como el conjunto de plantas y animales que en un suelo y clima dados son manipulados por el hombre con técnicas y herramientas en común para lograr un producto anhelado (Parra, 1982).

2.2.1. Sistema de producción extensivo

Según Boyazoglu (1998), los sistemas extensivos se identifican por compartir las siguientes características: el escaso uso de tecnologías; la baja producción de los animales por hectárea de superficie; y la alimentación que consiste en su mayoría en el pastoreo natural y en el uso de subproductos de la agricultura de la explotación. Beaufoy *et al.* (1994) menciona que los sistemas extensivos se caracterizan también por el uso de lo que llama razas regionales, el nulo uso de productos químicos y la continuación de prácticas de manejo antiguas como la trashumancia, el henificado y uso de la lactancia materna como única fuente de alimentación en terneros. Según Rodríguez-Estévez (2005), la ganadería extensiva se ha perfilado siempre más al seguimiento de lo común que a la alta producción, tratando de minimizar las fluctuaciones, y utilizar cantidades muy bajas o nulas de energía externa (combustibles, alimento, fertilizantes, etc.).

2.2.2. Sistema de producción intensivo

Los sistemas de producción intensiva, basan su producción principalmente en los insumos externos como los alimentos balanceados y productos químicos como los antibióticos y los promotores de crecimiento. Lo anterior permite que el tiempo de producción sea más acelerado y que aumente la productividad por animal y por espacio, sin embargo, esto representa un alto impacto ambiental por el manejo de residuos y las grandes pérdidas de nutrientes y por consiguiente las emisiones de gases de efecto invernadero (Herrero *et al.*, 2014).

2.2.3. Sistema de producción semi-intensivo

Este sistema se desarrolla principalmente en áreas de terreno pequeñas y la raza predominante es Holstein y pardo suizo americano, la ordeñase lleva a cabo de manera manual o puede ser también mecanizada, el nivel de tecnología utilizado es medio y se cuenta con sistemas de enfriamiento algunas veces, este sistema produce el 21.3% de la producción nacional (SAGARPA, 2005).

2.3. Sistemas de producción de leche

De manera general, en el país existen tres tipos de sistemas orientados a la producción de leche que son: la lechería a gran tamaño en la zona Centro-Norte; la lechería tropical o doble propósito en la zona sureste y la lechería a pequeña escala en la Zona centro (García, 1996). La literatura nacional reporta que el 80% de la producción Doble propósito se encuentra en la región tropical, haciendo referencia a Veracruz (38%), la Huasteca (Veracruz, Tamaulipas y San Luis Potosí) (19%), Chiapas (16%) y Tabasco (8%) (Vilaboa *et al.*, 2009).

2.3.1. Sistema de producción estabulado

Para este sistema se busca elevar la producción de leche y que se mejore la calidad de la leche. El objetivo es brindar raciones adecuadas de alimento y que éstas a su vez tengan un buen valor nutritivo, intentando que se aproximen lo mayor posible a la satisfacción de los requerimientos del animal, para que esto el animal refleje su potencial en la producción de leche (Elizondo, 1997)

Cuando los animales están en confinamiento, las dietas generalmente utilizadas se mezclan totalmente y se formulan con los mismos ingredientes durante todo el año.

Las dietas que se mezclan totalmente son formuladas con cantidades altas de concentrados, además de ensilajes y henos. La densidad energética que contienen las dietas y el balance general de los nutrientes se controla más fácilmente (INTA, 2004).

2.3.2. Sistema de producción semiestabulado

Para este sistema se busca elevar la producción de leche y que se mejore la calidad de la leche. El objetivo es brindar raciones adecuadas de alimento y que éstas a su vez tengan un buen valor nutritivo, intentando que se aproximen lo mayor posible a la satisfacción de los requerimientos del animal, para que esto el animal refleje su potencial en la producción de leche (Elizondo, 1997).

Cuando los animales están en confinamiento, las dietas generalmente utilizadas se mezclan totalmente y se formulan con los mismos ingredientes durante todo el año.

Las dietas que se mezclan totalmente son formuladas con cantidades altas de concentrados, además de ensilajes y henos. La densidad energética que contienen las dietas y el balance general de los nutrientes se controla más fácilmente (INTA, 2004).

2.3.3. Sistema de producción familiar o de traspatio

El sistema de producción familiar se practica principalmente en zonas semiáridas y templadas. Las características de este sistema se resalta el aprovechamiento de recursos de las familias rurales como la mano de obra y el uso de esquilmos de las cosechas de sus parcelas agrícolas, de igual manera el pastoreo de tierras de agostadero. Principalmente el ganado es de raza Holstein en semiestabulación. En cuanto a reproducción se utiliza la monta directa y en ocasiones inseminación artificial.

Para la alimentación se consideran los cultivos forrajeros de temporada, el uso de granos y en pocas ocasiones los ensilados de cultivos forrajeros. La ordeña se lleva a cabo de manera manual o mecánica. La producción de leche se estima en 3,000 kg/ vaca/año (Cuevas *et al.*, 2007; Flores *et al.*, 2007; Medina y Montalvo, 2004).

2.4. Sistema de producción de doble propósito

El sistema de producción de doble propósito se puede definir como la crianza de ganado que se dedica a la producción tanto de leche como de carne para venta, una parte de las vacas del hato se ordeña de manera parcial y el resto se utiliza para que la cría sea amamantada (Anderson y Wadsworth, 1995; Vaccaro y López, 1995).

Este sistema constituye el 19.5% de leche y 40% de carne del total nacional. En promedio, la producción diaria de leche por vaca es de 3 a 9 litros, la duración de esta lactación es de 120 a 180 días aproximadamente y partos cada 18 a 24 meses (Koppel *et al.*, 2002; Fadul-Pacheco *et al.*, 2013).

En la zona tropical húmeda de México, el sistema de bovinos doble propósito es el predominante (García *et al.*, 2007). Existen aproximadamente 2.4 millones de vacas que constituyen alrededor del 60% del total que son destinadas a la producción de leche de esa región (Román-Ponce *et al.*, 2013).

En el trópico mexicano, los sistemas de producción de doble propósito son los que aportan la mayor cantidad de leche de vaca comparándose con los sistemas especializados. De acuerdo a su capital, nivel de tecnificación y uso de suelos, los sistemas de doble propósito se pueden dividir principalmente como extensivos y otros como semi-intensivos (Román, 1994; Magaña, 2000; Gómez *et al.*, 2002)

Los sistemas de doble propósito son conservadores, se ajustan a las condiciones de las familias dedicadas a esta actividad, por los bajos riesgos que surgen de los cambios en los precios; principalmente en los granos, beneficios económicos más altos por unidad de tierra que la producción de carne (Yamamoto *et al.*, 2007) estando bajo un bajo capital de inversión y apoyos técnicos comparados con los demandados por sistemas especializados de producción de leche (García *et al.*, 2007; Berman, 2011); emplean parte de los subproductos para cubrir costos de producción (Villamar y Olivera, 2005).

Para llevar a cabo el manejo del ganado, éste se da de forma extensiva, llevando a cabo un confinamiento en corrales rústicos únicamente durante la noche; su alimentación está basada en un pastoreo de manera continua, utilizando pasto estrella (*Cynodon plectustachyous*), chontalpo (*Brachiaria decumbens*) y llanero (*Andropogon gayanus*) principalmente, con la menor cantidad de complementos en cuanto a alimentos balanceados, principalmente, en la época de secas y la ordeña se lleva a cabo de forma manual (Villamar y Olivera, 2005; Magaña *et al.*, 2006).

La perdurabilidad de los sistemas de doble propósito está condicionada a la capacidad con que cuenta para adaptarse a los cambios sociales, económicos y políticos experimentados a su alrededor. Para que lo anterior pueda convertirse en fortaleza, se necesita que sus modelos de producción sean capaces de ajustarse a nuevas oportunidades, restricciones y prioridades que dicta la dinámica de ese entorno; de manera especial en el medio ambiente, la seguridad y calidad de productos alimenticios, las innovaciones en cuanto a tecnología y organización y los cambios profundos en los mercados, etc. (Villamar y Olivera, 2005).

2.4.1. Alimentación del ganado doble propósito

Para el manejo del ganado doble propósito se utiliza el sistema extensivo, teniendo a los animales en confinamiento durante la noche, la alimentación está basada en un pastoreo continuo, de manera principal con pasto estrella (*Cynodon plectustachyous*), chontalpo (*Brachiaria decumbens*) y llanero (*Andropogon gayanus*) con la menor cantidad posible de complementos en alimentos balanceados, esto aplicado en la época de estiaje y la ordeña se lleva a cabo de forma manual (Villamar y Olivera, 2005; Magaña *et al.*, 2006).

En tanto que, en la época de estiaje la producción de leche baja considerablemente por la baja disponibilidad de forraje en potreros y agostaderos, el elevado costo de alimentación por la compra de concentrados comerciales (García *et al.*, 2007), a los que pocos productores (quienes se dedican a la ordeña y elaboración de quesos artesanales

durante todo el año) pueden acceder, en favor de la producción de ganado de carne bajo el sistema doble propósito y extensivo con encierro nocturno, del cual se mantienen durante ese periodo (García-Martínez *et al.*, 2011).

2.5. Sistemas agroforestales

Los sistemas agroforestales funcionan como alternativas ecológicas y productivas que tienen la capacidad de mejorar y y/o mantener la utilización y el manejo de grandes extensiones de tierra que se han degradado, de alguna región y del mundo (CATIE 1999). De acuerdo con Montagnini (1992), la práctica de estos sistemas se ha considerado como uno de los sistemas de cultivos más remotos del mundo. Sin embargo, el interés científico y político comenzó en la década de los años setenta a causa de la necesidad de dar un uso que fuera sostenible para las tierras, sobre todo en áreas económicas en recesión. Los sistemas agroforestales mantienen la estabilidad en la biodiversidad (las especies depredadoras cubren al cultivo de importancia contra plagas y enfermedades o protegen a especies polinizadoras importantes para asegurar la cosecha de algunos cultivos) y la dinámica del suelo, proporcionando beneficios a los seres humanos y proporcionando un hábitat en el cual la biodiversidad pueda sobrevivir y propagarse mediante la reproducción (CATIE, 1999).

Los sistemas agroforestales abarcan una extensa clasificación y para que ésta fuera más sencilla, Nair (1989) sugiere que se tomen en cuenta la estructura que compone a cada sistema y la función de cada uno para categorizarlos cómo (Agrosilviculturales, silvopastoriles y agrosilvopastoriles) y que los factores socioeconómicos y agroecológicos se tomen como base para la agrupación de los sistemas para propósitos específicos.

2.5.1 Sistema silvopastoril

Los sistemas silvopastoriles son aquellos sistemas de producción pecuaria en los cuales los cuales los árboles o arbustos leñosos y/o perennes, se relacionan con los componentes principales que son las forrajeras herbáceas y los animales, bajo un

sistema en el cual se da un manejo integral (Pezo e Ibrahim, 1998). Los árboles dispuestos para este sistema pueden ser de vegetación natural o plantarse para la utilización de madera, ya sea para productos industriales, frutales o como árboles con un propósito múltiple enfocados al apoyo específico para la producción animal. Por tal madera se consideran diversos tipos de sistemas silvopastoriles.

Un sistema silvopastoril es una opción de producción pecuaria que involucra la presencia de plantas leñosas perennes (árboles o arbustos) que interactúan con forrajeras herbáceas y animales bajo un sistema de manejo integral. Este sistema incrementa la productividad y el beneficio neto del sistema a largo plazo (López-Vigoa *et al.*, 2017).

2.5.2. Tipos de sistemas silvopastoriles

Dentro de las plantas leñosas que son consumidas por el ganado, destacan las leguminosas, y el bosque tropical seco mexicano cuenta con una gran diversidad de ellas (Martínez *et al.*, 2006; Quiñones *et al.*, 2006). Algunas de las especies que mejor se han evaluado son: *Acacia spp.*, *Prosopis spp.*, *Leucaena leucocephala*, *Pithecellobium dulce*, *Gliricidia sepium* y *enterolobium cyclocarpum*, éstas, además de fijar el nitrógeno atmosférico y ayudar al mejoramiento de los suelos, tienen otros usos como cercos vivos, leña, productos medicinales y alimenticios (Reyes-Reyes *et al.*, 2003; González *et al.*, 2006; Sánchez, 2008; Gutiérrez *et al.*, 2012). El ganado que utiliza de manera principal estos sistemas es el ganado bovino y en menor cantidad el caprino.

Los sistemas silvopastoriles de mayor importancia y que más se emplean para el ganado son los que se describen a continuación.

Cercas vivas

Las cercas vivas deben de establecerse por medio de estacas grandes de 2 a 3 metros de alto, éstas son cosechadas de las ramas de árboles maduros cuyas especies tienen

la capacidad de rebrotar vegetativamente. Esta práctica se realiza de manera muy común en el sur del país y en Centro América (Zahawi, 2005).

La función principal de este sistema es la delimitación de los suelos agrícolas y la división de los potreros que son utilizados para pastorear al ganado de forma rotacional (Harvey *et al.*, 2004; Fuentealba, 2014). También, ayudan a moderar la intensidad de los vientos y proporcionan una conectividad estructural al paisaje, operando como corredores biológicos (Harvey *et al.*, 2005; Chacón-León y Harvey, 2006). Las cercas vivas también pueden incluir árboles sobrantes de los ecosistemas originales, pero lo más utilizado es el uso de estacas (Guevara *et al.*, 1997; Fuentealba, 2014), de manera que las especies son escogidas de acuerdo con su durabilidad y las características ecológicas del lugar (Avendaño-Reyes y Acosta-Rosado, 2000; Grande *et al.*, 2006).

Bancos forrajeros

En los bancos de forraje, los más utilizados son los bancos de proteína ya que es la forma más intensiva de producción de forraje de plantas leñosas y consiste en la plantación en monocultivo de árboles o arbustos cuyas especies son de alto valor nutritivo y tienen alta capacidad de rebrote después de ser consumidas (Hernández y Gutiérrez, 1996)

De acuerdo con Hernández y Simón (1993) estos subsistemas consisten en la siembra de árboles, arbustos y plantas herbáceas con alto contenido de proteínas (por lo general leguminosas), con una gran densidad en una determinada área de pastoreo.

Ruiz y Febles (1999) mencionan que el manejo de los bancos de proteína para el pastoreo es simple, y acepta que un vaquero experimentado y cuidadoso lo realice con eficiencia. El área de las leguminosas debe estar dividida en cuartones y rotarse, de manera tal que garantice períodos de descanso no menores a cinco semanas, que pudieran alargarse en el caso de que sea necesario propiciar un rebrote fuerte y abundante de las leguminosas.

Cortinas rompevientos

Las cortinas forestales son plantaciones de árboles y arbustos con arreglo en líneas simples o múltiples, cuyo objetivo es alterar el flujo del viento y el microclima alrededor de alguna superficie, ya sean cultivos, granjas y hogares.

Las cortinas se establecen de manera principal como protección para el suelo, conservar la humedad, obstruir las partículas que se encuentran dispersas en el aire, brindar protección a las plantas y animales y mejorar el clima edáfico y del cultivo (Copes, 2012).

En cuanto a la ganadería, los animales obtienen beneficio con las cortinas rompe vientos: directamente por la reducción de la velocidad del viento en época de invierno, lo que les permite pasar una temporada invernal en condiciones más propicias y les proporciona sombra y viento fresco durante el verano, evitando así el estrés por calor; también se obtiene un beneficio indirecto, ya que se aumenta el rendimiento de la pradera teniendo así una mayor disponibilidad de forraje que sirve para alimentación del ganado y en consecuencia se obtiene una producción secundaria más alta, que se ve reflejada en la ganancia de peso y el aumento en la producción de leche y lana si es el caso (Quam *et al.*, 1994).

2.5.3. Beneficios de los sistemas silvopastoriles

Dentro de los beneficios principales que se han evaluado en los sistemas silvopastoriles resalta el aumento en la fertilidad del suelo, esto debido a que las raíces de los árboles utilizan los nutrientes de las capas más profundas y pueden asociarse con las bacterias fijadoras de nitrógeno o con las micorrizas que solubilizan el fósforo (Shibu, 2009). De igual manera se ha reportado que la sombra que brindan los árboles disminuye el estrés calórico del ganado, aumentando su tiempo dedicado al pastoreo, lo cual mejora la calidad y cantidad de leche y carne que se produce (Betancourt *et al.*, 2005). También, se encontró que algunas especies de leguminosas usadas como forraje tienen

compuestos con actividad antihelmíntica por lo que en el ganado se disminuye la cantidad de parásitos, mejorando la calidad de la carne producida (Murgueitio *et al.*, 2011).

Nair *et al.* (2009) menciona que los sistemas silvopastoriles representan también una opción para revertir los procesos de degradación de los pastizales, al incrementar la protección física del suelo y ayudar a la recuperación de la fertilidad con la intervención de leguminosas que fijan el nitrógeno al suelo y de árboles de raíces pivotantes que aprovechan las capas profundas y reciclan los nutrientes.

Las plantas leñosas, también, aportan productos importantes para la población local como: madera, leña, forraje para el ganado y frutos comestibles, y sub-productos como aceites y taninos, algunos de los anteriores poseen un alto valor económico (Pezo e Ibrahim, 1998; Dagang y Nair, 2003).

Entre los resultados benéficos de los sistemas con árboles (Ríos *et al.* 2007) se halla el mejoramiento de las micro presas, al facilitar la infiltración del agua y la recarga de los acuíferos. Sin embargo, el servicio ambiental hídrico es el menos estudiado en la actividad ganadera (Beer *et al.* 2003).

La presencia de cobertura arborea trae consigo importantes beneficios al ambiente: mejora la conectividad del paisaje (Chacón-Leon y Harvey, 2006), aumenta la biodiversidad que se mantiene (McNeely y Schroth, 2006; Estrada, 2008), y durante su desarrollo, las especies leñosas capturan grandes cantidades de carbono (Soto-Pinto *et al.*, 2009), disminuyendo el impacto del cambio climático.

La implementación de sistemas silvopastoriles en la producción ganadera puede contribuir a mejorar el bienestar y reducir los impactos negativos que genera el estrés calórico en zonas tropicales (Navas, 2010).

2.5.4. Desventajas de los sistemas silvopastoriles

La mayor limitante para este tipo de sistemas es la marcada estacionalidad en la producción y disponibilidad de las pasturas, además de una baja calidad nutricional en la temporada seca del año, lo anterior no permite obtener niveles aceptables de producción de carne y leche, por lo cual se ven afectados los parámetros reproductivos (Lamela *et al.*, 2005; Steinfeld *et al.*, 2006).

Bustamante y Romero (1991) y Pezo (1992) hicieron referencia al caso de las interacciones tanto positivas como negativas que se producen en los sistemas silvopastoriles de las cuales se pueden citar las siguientes:

- La competencia que existe de árboles con respecto a los estratos herbáceos.
- Debido a la sombra de los árboles, las especies forrajeras del estrato inferior se ven afectadas por la falta de luz que se produce, lo que afecta el rendimiento y la calidad del forraje.
- El espacio que utilizan las raíces de los árboles puede ser un problema, ya que puede competir con las pequeñas raíces de los pastos.
- En cuestión de nutrientes y agua donde las regiones con ecosistemas cuentan con pocas lluvias y los terrenos son pobres, se hace más perjudicial este factor sobre el pastizal.
- La alelopatía que es un mecanismo de defensa propio de algunas plantas, que aún requiere de estudios para cuantificar sus afectaciones en los pastos.
- El descanso y sombreado del ganado bajo los árboles, puede afectar la cobertura herbácea ya que se produce compactación del suelo y disminución de la cobertura herbácea.
- Algunos árboles pueden constituir que se colonicen especies agresivas y que los animales dispersen la semilla.

- La sensación de alto calor y humedad lleva a estrés calórico en las vacas. Esto impacta negativamente el consumo voluntario de alimento, la producción de leche, la reproducción y la salud de los animales.

2.6. Importancia de las especies arbóreas de leguminosas en la alimentación de bovinos

El uso del follaje y de los frutos de los árboles, particularmente de las leguminosas, para suplemento en la alimentación del ganado es una práctica que se conoce de antaño por los productores (Palma, 2006), y al parecer es utilizada con mayor frecuencia en climas estacionales, época en la cual la disponibilidad de forrajes disminuye. Recientemente se ha acrecentado el interés en incorporar el conocimiento que poseen los productores locales para identificar las especies leñosas con mayor potencial forrajero y posteriormente completarlo con los estudios técnicos requeridos (Jiménez-Ferrer *et al.*, 2008a).

De manera particular hay zonas en las que estas prácticas tradicionales se han ido perdiendo (Hernández-Huerta *et al.*, 2006), pero aún es posible documentar aquellas que la mayoría de los productores reconoce, de igual manera algunas de las especies que comúnmente el ganado ramonea. El hecho de integrar el conocimiento local contribuirá al diseño de propuestas tecnológicas para el aprovechamiento y conservación de las especies leñosas y a que se generen sistemas silvopastoriles de mayor extensión y de mayor interés para su adopción (Jiménez-Ferrer *et al.*, 2008b).

En el cuadro 1 se muestra una comparación de tres sistemas de producción con cinco años de establecimiento; donde se encuentra en el SSPi una elevada producción de forraje, carne y leche en comparación con el sistema de baja densidad y con pastos sin árboles (Murgueitio y Solorio, 2008). Esta comparación muestra la importancia de la incorporación de especies forrajeras en los sistemas silvopastoriles.

Cuadro 1. Comparación de las principales características de un sistema de producción ganadera con pastos mejorados y asociado con *Leucaena leucocephala* a baja y alta densidad.

INDICADOR	Pastos mejorados sin árboles, con riego, sin fertilización y suplementación	Pastos y <i>L. leucocephala</i> con baja densidad (4,000 plantas ha ⁻¹), con riego, sin fertilización y suplementación	SSPi con <i>L. leucocephala</i> (10,000 plantas ha ⁻¹), con riego, sin fertilización y suplementación
Forraje verde (t ha ⁻¹ año ⁻¹)	55	90	185
Carga animal, unidades ganado grande (UGG)	1.3	2.5	5
Carga animal (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	180	680	1,900
Producción de leche (L ha ⁻¹ año ⁻¹)	1,000	3,650	10,950

Fuente: Murgueitio y Solorio (2008).

2.6.1. Plantas que se pueden utilizar para forraje

En la zona tropical seca del sur del Estado de México las especies forrajeras que prefiere la población son *Pithecellobium dulce*, *Haematoxylum brasiletto* y *Gliricidia sepium* (Olivares-Pérez *et al.*, 2011). En la zona de Veracruz y la península de Yucatán se han realizado trabajos enfocados en el estudio de 2 especies forrajeras importantes: *Brosimum alicastrum* (Ku Vera *et al.*, 1999) y *Guazuma ulmifolia* (Villa-Herrera *et al.*, 2009). *B. alicastrum* es una especie bastante valorada por los ganaderos del trópico seco, aunque necesita de altos niveles de humedad, por lo que normalmente se desarrolla solo en las cañadas (Iñiguez *et al.*, 2007

En el caso del trópico seco las principales especies fueron *Pithecellobium dulce*, *Parmetiera edulis*, *Acacia milleriana* y *Erythrina goldmanii* (Pinto-Ruiz *et al.*, 2006); para el trópico húmedo *Brosimum alicastrum*, *Psidium guajava*, *Spondias bombin* (Jiménez-Ferrer *et al.*, 2008b).

Algunas de las especies más evaluadas son *Acacia spp.*, *Prosopis spp.*, *Leucaena leucocephala*, *Pithecellobium dulce*, *Gliricidia sepium* y *Enterolobium cyclocarpum*, las cuales además de fijar el nitrógeno atmosférico y contribuir a la mejora de los suelos, poseen usos múltiples como cercos vivos, leña, productos medicinales y alimenticios (Reyes-Reyes *et al.*, 2003; González *et al.*, 2006; Sánchez, 2008; Gutiérrez *et al.*, 2012).

2.6.2. Uso y aprovechamiento de *Leucaena leucocephala* (*Leucaena*)

Leucaena leucocephala(Lam.) de Wit, comúnmente llamada leucaena, acacia forrajera o carbonero blanco, es una leguminosa perenne, que posee un amplio potencial para la alimentación de los rumiantes y es capaz de desarrollarse con gramíneas acompañantes bajo condiciones tropicales y subtropicales. Se desarrolla en suelos bien drenados, con un pH de neutro a alto, por debajo de los 1 400 metros de altitud y con una fertilidad aceptable (Murgueitio *et al.*, 2011). Cuando esta especie se maneja como un arbusto, resulta tolerante a la sequía y se reconoce por su elevado valor forrajero, gracias a su

gran capacidad de rebrote, palatabilidad y características nutricionales superiores, que incluyen un alto contenido de proteína cruda y carbohidratos solubles, además de un bajo contenido de fibra (Cuartas *et al.*, 2015a; Gaviria *et al.*, 2015a).

En los últimos años se ha comprobado la existencia de varias evidencias sobre las ventajas nutricionales de *L. leucocephala* para la alimentación de rumiantes y su contribución para generar sistemas más productivos y sostenibles en condiciones tropicales (Murgueitio *et al.*, 2015; Gaviria *et al.*, 2015b). Gracias a su alta producción de forraje y calidad nutricional, en los sistemas que incluyen esta leguminosa es posible emplear una mayor carga animal por hectárea y obtener ganancias de peso y producciones mayores de leche en rumiantes, con respecto a las que se alcanzan en otros sistemas forrajeros tropicales (Mohammed *et al.*, 2015; Gaviria *et al.*, 2015b).

De ahí que la intensificación de la ganadería bovina con el uso de *L. leucocephala*, principalmente en sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi), contribuya a la provisión de forrajes de buena calidad, la rehabilitación de ecosistemas degradados y la mitigación y adaptación al cambio climático (Havlík *et al.*, 2013). Las menores emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas a este tipo de sistemas se deben tanto a las características de sus forrajes como a una mayor eficiencia productiva (Molina *et al.*, 2013; Rivera *et al.*, 2016).

Por otro lado, la estimación de la productividad animal, de acuerdo con estudios de Gaviria *et al.* (2012), Cuartas *et al.* (2013), Rivera *et al.* (2013) y Mohammed *et al.* (2015), se llevó a cabo por medio de pesajes periódicos a los animales y a la leche producida en los sistemas de doble propósito y de lechería especializada; mientras que la producción por hectárea se estimó a partir de las producciones individuales en cada sistema y la carga animal, que a su vez se determinó teniendo en cuenta la oferta (aforos) y la demanda (requerimientos) de MS.

Debido a la mejora de la calidad nutricional y al mayor consumo de nutrientes, en los sistemas que incluyen *L. leucocephala* se produce más carne y leche que en los convencionales (Cuartas *et al.*, 2014). Además, la ganadería basada en estos sistemas es más rentable (González, 2013).

2.7. Producción de leche en sistemas silvopastoriles

Una opción para mejorar los sistemas ganaderos es el establecimiento de sistemas silvopastoriles, los cuales están caracterizados por tener una producción más alta y una calidad forrajera destinada a la alimentación animal (Yamamoto *et al.*, 2007; Murgueitio e Ibrahim, 2008). Las combinaciones dentro de este sistema incluyen árboles de leguminosas y otras especies forrajeras, pasto de corte y árboles maderables (Krishnamurthy *et al.*, 2003; Bautista *et al.*, 2011).

La mayor demanda de alimentos de origen animal se debe complementar, en su mayoría, por los sistemas de producción animal de los países tropicales, ya que tienen las mejores condiciones para aumentar de forma significativa la producción de alimentos, a partir de su capacidad para generar biomasa (Chará *et al.*, 2015).

Dentro de los sistemas silvopastoriles destaca la asociación de *Leucaena leucocephala* con otras especies forrajeras, principalmente gramíneas, debido a que esta leguminosa tiene altos rendimientos y un elevado valor nutritivo; además, puede ser utilizada eficazmente bajo corte o pastoreo en la alimentación de diferentes especies animales de importancia para el hombre (Faría, 1996; Richardson, 2009).

Como puede observarse, las asociaciones de árboles con pastos mejorados establecidas en suelos de buena fertilidad y cierto nivel de suplementación con concentrados propician mejores rendimientos al producir leche con vacas de mediano potencial que los sistemas arborizados sobre suelos de baja fertilidad y pastos naturales; o no arborizados aun cuando se hayan establecido sobre suelos fértiles, con pastos cultivados, y además posean un nivel aceptable de suplementación con concentrados (Reinoso, 2000).

Las asociaciones de Leucaena con gramíneas mejoradas (*Panicum maximum* y *Cynodon nlemfuensis*) en suelos de mediana fertilidad permiten un consumo de PB entre un 20 y un 35% por encima de las necesidades de los animales; mientras que la energía es deficitaria entre un 3 y un 10% para vacas de mediano potencial en lactación, es decir, de 7 a 9 kg/animal/día (Sánchez *et al.*, 2008).

2.8. Calidad de leche

La calidad de la leche puede dividirse en dos grandes aspectos, el composicional y el higiénico- sanitario. La calidad composicional se refiere a los requisitos de “composición fisicoquímica” que debe cumplir la leche y es evaluada mediante la medición del contenido de sólidos totales, grasa y proteína, además de los parámetros que determinan su valor nutricional y su aptitud como materia prima para el procesamiento de derivados lácteos (Guzmán, 2012).

La leche que es considerada de calidad procede de vacas clínicamente sanas, ricas en materias útiles y pobre en agentes contaminantes, siendo un producto completo, no alterado ni adulterado y sin calostro procedente de ordeños higiénicos: por tanto, los componentes naturales de la leche se encuentran en porcentajes normales (Buxade 1997).

Así mismo, la calidad de la leche cruda es influenciada por múltiples condiciones entre las que se destacan los factores zootécnicos, asociados al manejo, alimentación y potencial genético de los animales, así como factores relacionados a la obtención y almacenamiento de la leche recién ordeñada. Los primeros, son los responsables por las características de la composición de la leche y por la productividad (Bustamante y Romero, 1991). La obtención y almacenamiento de la leche cruda, por otro lado, se relaciona directamente con la calidad microbiológica del producto, determinando inclusive su tiempo de vida útil (CATIE, 1999).

El término calidad de la leche, incluye las propiedades composicionales y microbiológicas. Las características composicionales incluyen las propiedades físicas y químicas. Dentro de las físicas, se encuentra la densidad que se puede definir como el peso de un litro de leche expresado en kilogramos (FEDEGAN 2000), y se ha establecido que la densidad de la leche cruda a 15 °C, oscila entre 1.030 y 1.033 g/mL (MPSC 2006). Las propiedades químicas corresponden a los porcentajes de acidez, proteína, grasa, lactosa, minerales, vitaminas, sólidos no grasos y sólidos totales (Gerber 1994).

III. JUSTIFICACIÓN

Las actividades agropecuarias tienen una gran importancia económica en zonas rurales y la ganadería es un ejemplo de estas actividades, debido a su fácil adaptación y practica bajo diversas condiciones de producción. Asimismo, los sistemas de ganado de doble propósito, han sido ampliamente explotados en zonas de trópico seco, bajo sistemas de manejo extensivo, alimentados con pastizales naturales, notándose dos épocas definidas en un ciclo productivo: el periodo de lluvias con producción de forrajes suficiente y disminución de insumos externos, mientras que durante el periodo de sequía la producción de forrajes disminuye considerablemente y se incrementa el uso de alimentos balanceados comerciales y el costo de producción de carne o leche.

Bajo este esquema los sistemas silvopastoriles (SSP) se perfilan como alternativas viables, no solo por el aporte de nutrientes para el ganado durante gran parte de un ciclo de producción, sino por sus bondades para el cuidado del ambiente en el que se desarrolla la ganadería. Asimismo, los SSP pueden mejorar las características nutricionales de la carne y leche de vaca, alimentadas en estos sistemas de manejo, a la vez que el ganado se mantiene en buenas condiciones, pues favorecen la ganancia de peso y condicione corporal e incluso incrementar la carga ganadera. En este tenor, es importante evaluar los efectos que tienen sobre las características químicas de la leche de vaca alimentadas en sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi).

IV. HIPÓTESIS

La productividad y dinámica de desarrollo de un sistema silvopastoril intensivo en trópico seco, depende del tiempo (años) que se mantiene activo.

V. OBJETIVOS

5.1. General

- Evaluar la productividad y dinámica de un sistema silvopastoril intensivo para producción de leche en trópico seco, a través del tiempo (años) de actividad y permanencia.

5.2. Específicos

- Caracterizar un sistema silvopastoril intensivo para producción de leche en trópico seco.
- Monitorear, un sistema silvopastoril a través del tiempo de actividad y permanencia
- Analizar la productividad y dinámica de un sistema silvopastoril intensivo a través del tiempo de actividad y permanencia.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Localización de zona de estudio

La investigación se realizó en una UP con vacas DP de raza Gyr lechero (*Bos Indicus*), además de cruza con raza Holstein (*Bos Taurus*), bajo el manejo de SSPi, en el municipio de Apatzingán, Michoacán, México (Estrada-López, 2018). La UP se ubica en las coordenadas 19°04'44" N, 102°20'50" O y se localiza a 325 msnm. El lugar presenta un clima Aw o tropical seco, precipitaciones de 762.8 mm y temperatura media anual de 28°C (Figura 1) (WS, 2022).

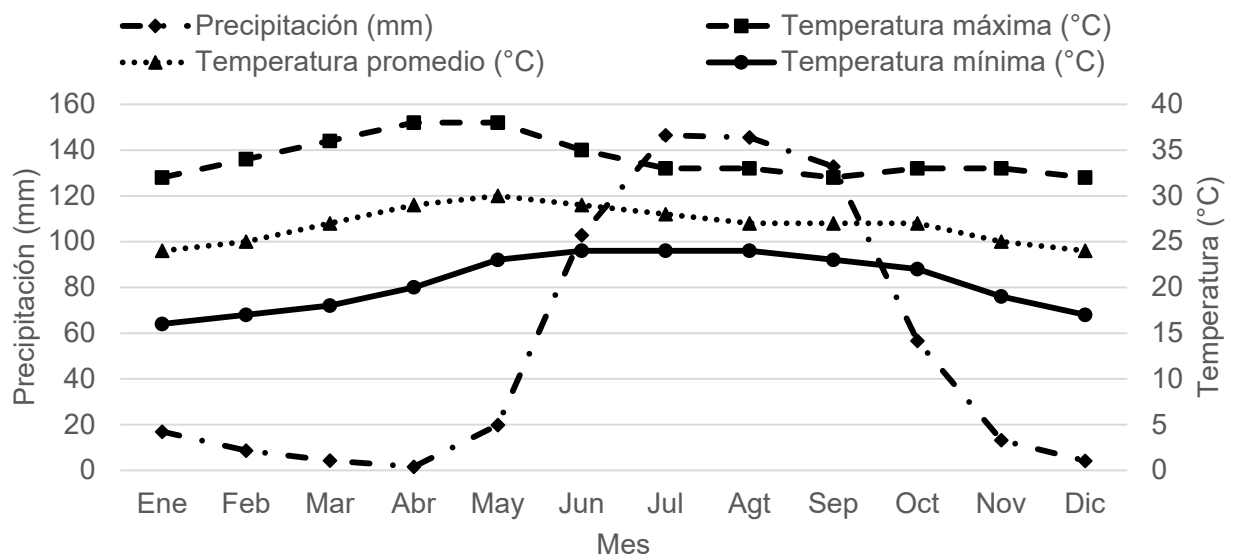


Figura 1. Condiciones meteorológicas del municipio de Apatzingán, Michoacán, México

Fuente: Weather spark, 2023.

Apatzingán se localiza en el sureste del Estado de Michoacán, en las coordenadas 19°05" N y 102°21" O, a una altura de 300 msnm. Limita al norte con Tancítaro, al este con Parácuaro y La Huacana, al sur con Tumbiscatío y al oeste con Aguililla y Buenavista (Figura 2).

Su superficie (1,639.92 km²), representa el 2.81% de la superficie estatal. Su clima es tropical con lluvias en verano y una precipitación de 924 mm⁻¹ y temperaturas que oscilan entre 8°C a 39.8°C.

Su territorio está dominado por bosque tropical espinoso, con huizache, cueramo, mezquite, frijolillo, teteche y viejito; bosque tropical deciduo, con zapote, plátano, mango, ceiba parota y tepeguaje y, bosque mixto, con pinos y encinos, que crecen en suelos del tipo podzólico, destinado principalmente a actividades agrícolas y forestales y en menor proporción ganadero. (EMDM, 2022).

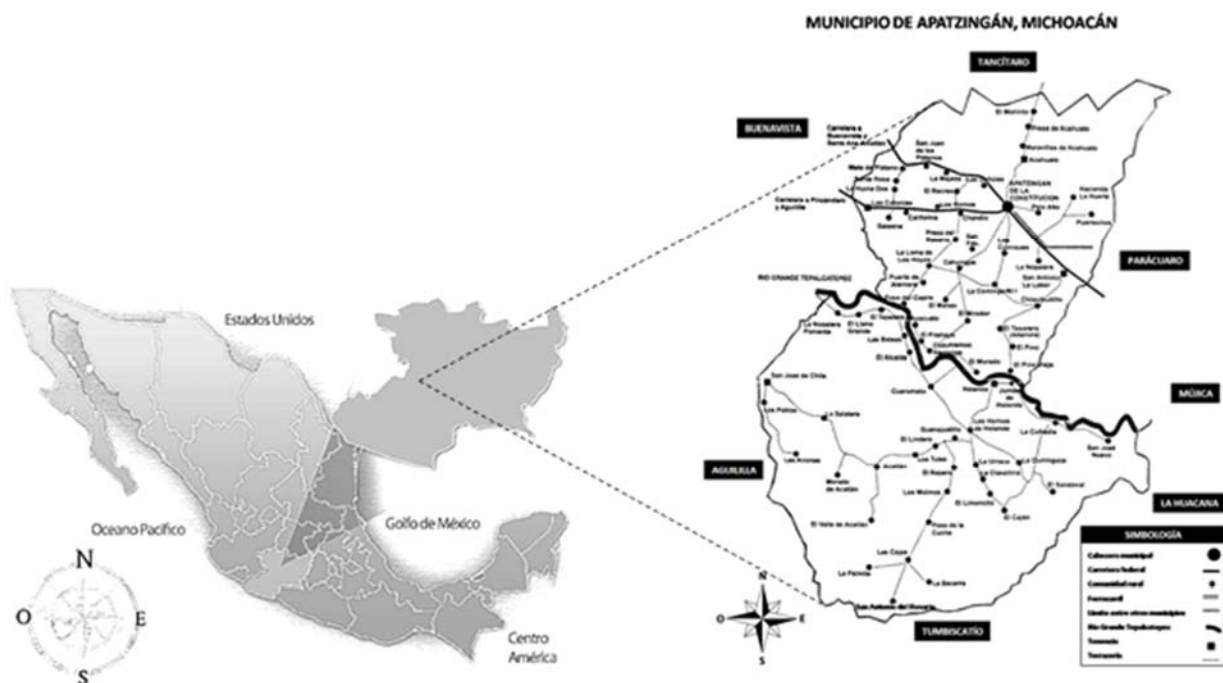


Figura 2. Localización del Municipio de Apatzingán, estado de Michoacán.

Fuente: Elaboración propia con imágenes de Travel México (TM), 2022.

Las características principales características de la UP, se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Características de la UP bajo manejo de SSPi en Apatzingán, Michoacán, México y costos de puesta en marcha

Activo	Proyecto establecido con el SSPi
Superficie de riego (ha)	48
Superficie de pastizal natural (ha)	10
Superficie con construcciones e instalaciones (ha)	1
Valor de las tierras en pesos (\$)	5,220,000
Construcciones e instalaciones (\$)	2,460,000
Maquinaria y equipo (\$)	500,000
Pie de cría (\$)	946,000
Plantación y mantenimiento del SSPi, en 48 ha (\$)	650,880
Total(\$)	9,776,880

Fuente: Estrada-López, 2018.

6.2. Manejo de los animales y potreros

Los animales de la UP mantuvieron una alimentación a base de forrajes. El hato de la UP, se conformó por vacas en producción, vacas secas gestantes, vaquillas de reemplazo, semental, toretes, terneras y becerros. Las vacas en producción recibieron un suplemento energético a base de sorgo molido, a razón de 3.0 kg vaca⁻¹ día⁻¹ (43 MJ de EM vaca¹ día⁻¹), durante el ordeño, por 210 días de lactancia. Posterior al ordeño, las

vacas en producción tuvieron acceso durante 19 horas a potrero establecido con el SSPi y agua *ad libitum*.

El SSPi, consistió de los componentes forrajeros *Megathyrsus maximus*(Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs cultivar Tanzania (Tanzania) y Leucaena, establecidos en potreros delimitados por cerco eléctrico, utilizados por el componente animal en pastoreo rotacional intensivo. La Leucaena fue sembrada en hileras con una orientación este-oeste mediante la técnica a chorrillo y distancias de 1.60 m, entre hileras, para permitir la entrada de luz y favorecer el crecimiento de la gramínea. El pasto Tanzania se estableció al chorrillo a ambos lados de la hilera de Leucaena.

Día con día las vacas tenían acceso entre 0.75 y 1 hectáreas del potrero SSPi, misma que era delimitada por cerco eléctrico movable. Estas vacas únicamente salieron del potrero al momento de la ordeña. Los toretes, vaquillas y becerros pastoreaban como seguidores en el SSPi, razón por la que se incluyeron en el cálculo de carga animal en el SSPi. Los toretes, vaquillas y becerros tuvieron acceso a agua limpia *ad libitum* y no recibieron alimentación adicional. El resto del hato, conformado por vacas secas gestantes, vaquillas para reemplazo y el semental, pastorearon en 10 hectáreas con pastizal natural. Este lote de ganado, no se incluyó en el cálculo de capacidad de carga del SSPi.

Las vacas secas gestantes y vaquillas para reemplazo, no representaron ningún gasto adicional debido a que no consumían suplemento. Cuando las hembras parían, se trasladaban a los potreros del SSPi e iniciaban el manejo normal de las vacas en producción, descrito con anterioridad.

La UP mantenía una carga animal de 2.06 UA ha⁻¹, durante el periodo analizado. La carga animal, número de UA por hectárea (ha), se estimó dividiendo la cantidad total de UA comprendidas en las vacas en producción más los toretes, terneras y becerros, por la superficie total destinada al pastoreo del ganado, bajo el manejo SSPi.

6.4. Producción de leche

El ordeño de las vacas fue de manera mecánica. Se registró leche producida (kg vaca^{-1} día⁻¹) durante cinco días consecutivos de cada mes, de mayo a agosto de 2019. Para el pesaje de la leche se utilizó un pesador automático, adaptado a la línea colectora de la leche de la sala de ordeño.

6.6. Composición de la leche

Se determinó el contenido de grasa, sólidos no grasos, densidad y proteína de la leche, mediante el equipo portátil Lactoscan Milk Analyzer®.

6.6. Análisis económico financiero

Para este análisis, se consideró el análisis realizado durante 2015 (año 1) por Estrada-López et al., (2018). Asimismo, se utilizó el análisis de 2017 (año 2) y posteriormente el análisis de 2019 (año 3), en los que se manejaron cargas de 2, 5 y 1 UA ha año⁻¹, respectivamente. La información se obtuvo mediante, seguimientos técnico económicos, a través de cuestionarios semiestructurados para recolectar información sobre ventas de leche y animales, manejo y gestión de la UP, registro de la alimentación del ganado, ingresos y costos. El valor de la tierra y construcciones e instalaciones se amortizó a 20 años, de manera que el costo asignado a un año productivo fue 5% de su valor, la maquinaria y equipo a 10 años (10% de su valor) y el costo de la compra de vacas y la siembra de la superficie (48 ha) del SSPi se amortizaron a 5 años (20% de su valor) de acuerdo con la Ley del impuesto sobre la renta (DOF, 2009). Los cálculos realizados fueron los siguientes:

Ingresos = venta de leche + venta de animales en pie. Costos de alimentación = sorgo + siembra del SSPi + riego y uso del agua.

Egresos = costos de alimentación + amortización de instalaciones, maquinaria y equipo + amortización de vacas + mano de obra + comercialización.

MB = ingresos-costos de alimentación.

MN = ingresos-egresos.

MN vaca⁻¹ = MN/número de vacas en producción.

MN hectárea⁻¹ = MN/ha de superficie.

MN día⁻¹ = MN/365.

VII. RESULTADOS

7.1. Características estructurales de la UP

Las diferencias de temperatura de 2017 y 2023, se muestran en el Cuadro 3. Se observó una disminución de -2.63°C , -6.46°C y -6.03°C , en la temperatura mínima, promedio y máxima en un periodo de cinco años. Principalmente en los meses de noviembre, enero febrero, marzo. Asimismo, la precipitación disminuyó 28.73 puntos porcentuales sobre todo en los meses de abril, junio y diciembre, aunque tuvo un repunte de 33.96 puntos porcentuales en noviembre, enero, febrero y marzo.

Lo anterior hace referencia a que se tuvo un año atípico en cuanto a precipitaciones ya que la sequía en esta zona se extendió hasta principios de agosto lo cual resulta anormal por la temporada que normalmente se presenta, pero para los meses de noviembre, enero, febrero y marzo, se tuvo un repunte que fue lo que marcó la diferencia.

Como puede observarse existe primero una disminución y después un aumento de las precipitaciones como una consecuencia esperada del cambio climático.

Cuadro 3. Cambios en la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y precipitación (mm) en la zona de estudio en las fechas 2017 vs 2023

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agt	Sep	Oct	Nov	Dic
T. mínima	-6.3	-5.3	-7.8	-6.5	-2.2	0.4	4.6	4.6	0.9	-1.8	-7.4	-4.7
T. promedio	-6.3	-7.6	-7.0	-5.5	-6.0	-6.2	-3.2	-7.0	-5.6	-5.6	-10.4	-7.1
T. máxima	-6.3	-5.9	-6.7	-5.3	-5.8	-7.7	-6.1	-5.8	-7.2	-4.8	-5.5	-5.3
Precipitación (mm)	40.8	65.5	30.2	-87.5	9.1	-22.6	-7.8	-8.6	-5.4	-2.5	24.2	-66.7

T = Temperatura ($^{\circ}\text{C}$).

Fuente: Elaboración propia con información de Weather spark (2023).

La UP contó con 48 hectáreas con acceso a agua para riego. Esta superficie fue cultivada con una combinación de Leucaena y pasto Tanzania, que se utilizaron para la alimentación del ganado bajo un SSPi. La densidad de población observada fue de 60,467 (\pm 18,562) y 19,884 (\pm 4,564) plantas hectárea⁻¹, que correspondió a una producción de masa herbácea por ciclo de pastoreo de 787 y de 1,631 kg de MS ha⁻¹ para Leucaena y Tanzania, respectivamente. Respecto de la composición nutricional, el contenido de proteína cruda fue de 267 y 98 gramos kg⁻¹ MS, Fibra Detergente Neutro de 31.7 y 63.3 gramos kg⁻¹ MS y Fibra Detergente Acido a razón de 21.8 y 41.2 gramos kg⁻¹ MS para Leucaena y Tanzania, respectivamente (Estrada-López, 2018).

En el Cuadro 4 se muestra las características estructurales y técnicas de la UP, donde el hato se integró principalmente por vacas en producción. El resto, estaban en el último tercio de gestación e improproductivas. Además, el hato contaba con novillas (os) y becerros (as). La mano de obra (MO) disponible se clasificó como: i. directa (MO directamente involucrada en la producción) y ii. indirecta (MO para gestión, administración y vigilancia de la UP).

La Unidad de Producción estaba constituida por 58 ha en cuanto a cultivo, la cual estaba dividida en un 82.8 % por Leucaena y Tanzania y un 17.2 % integrada por pastizal natural, se contaba con 5 trabajadores de los cuales 3 constituían la mano de obra directa y 2 mano de obra indirecta.

Cuadro 4. Características estructurales y técnicas de la UP

Variable	Cantidad
ha Superficie total (ST)	58.0
% ha de superficie cultivada con Leucaena /Tanzania	82.8
% ha de superficie con pastizal natural	17.2
Mano de obra total (MOT)	5.0
% mano de obra directa/MOT	60.0
% mano de obra indirecta/MOT	40.0
No. de vacas total	86.0
% vacas en producción/vacas totales	69.8
% vacas secas/vacas totales	30.2

Fuente: (Estrada-López, 2018).

Notas: \$= pesos, UA = Unidades animal, equivalente a una vaca de 450 kg de peso vivo, MOT = Mano de obra total (No. de jornales por día). El peso vivo promedio de los animales fue: vacas en producción y secas = 515 kg; novilla = 260 kg; novillo = 280 kg y becerro = 60 kg.

7.2. Manejo de los animales en los potreros

La asignación de forraje para las vacas en producción fue de 21 kg de MS vaca⁻¹ día⁻¹, con una eficiencia de utilización de 100% en Leucaena y 64% para Tanzania. Es importante resaltar, que el periodo de sequía se extendió aproximadamente dos meses hasta final de julio e inicio de agosto del año en que se desarrolló el presente estudio,

situación anormal para la zona. Esta situación obligó a la utilización de fuentes de agua para riego. Con este manejo se logró una oferta de forraje por ciclo de pastoreo, similar a los 2,400 kg de MS ha⁻¹ ciclo de pastoreo⁻¹ de pasto estrella africana y Leucaena reportado por Bacab y Solorio (2011), para la misma zona de estudio. Asimismo, el riego fue benéfico para mantener la producción de forraje y una rotación diaria de potreros. En función de lo anterior, el consumo de materia seca (CMS) de forraje por el método de comportamiento al pastoreo fue de 3.09 (±0.44) kg de MS vaca⁻¹ día⁻¹ de Leucaena y 9.04 (±1.28) kg de MS vaca⁻¹ día⁻¹ de Tanzania, para un total de 12.1 kg MS (Estrada-López, 2018).

Mientras que por el método de diferencia en masa forrajera el CMS fue de 4.65 (±0.57) y 6.85 (±2.02) kg vaca⁻¹ día⁻¹, y un total de 11.5 kg de MS, para Leucaena y Tanzania, respectivamente. Se observó una diferencia de 4.10% en el consumo total de MS, siendo menor el calculado por el segundo método. La diferencia en las estimaciones de CMS, fue por la inexactitud propia de las técnicas (Estrada *et al.*, 2014). Este CMS de los forrajes fue similar al reportado por Bacab y Solorio (2011), en condiciones de pastoreo en un SSPi. Sin embargo, el consumo de MS total (15.45±1.32 kg MS día⁻¹) calculado por el método de comportamiento al pastoreo fue 12.1% menor al estimado mediante ecuaciones de predicción (13.5 kg de MS vaca⁻¹ día⁻¹), en el que consideró la semana de lactación, kilogramos de concentrado por día, peso vivo y producción de leche de las vacas (AFRC, 1993).

Lo anterior, indicó que los cálculos de consumo de MS se encuentran dentro del rango de estimaciones, realizadas en condiciones similares de manejo y gestión de vacas en producción de leche. La carga animal fue de 2.06 UA ha⁻¹, superior a 1.14 UA ha⁻¹ reportadas en sistemas de pastoreo de praderas en monocultivo de Chiapas y Veracruz, México (Ramírez *et al.*, 2012; Vilaboa y Díaz, 2009).

Asimismo, se evidencio que la combinación de leguminosas y gramíneas en un SSPi, permitió un incremento de 44.66% en la carga animal, durante el periodo en que se realizó el estudio.

7.3. Producción de leche

La producción promedio de leche fue de 8.6 (± 3.19) kg vaca⁻¹ día⁻¹, similar al reportado por Bacab y Solorio (2011) y Bacab *et al.* (2013) con vacas Pardo Suizo en condiciones de manejo y agroclimáticas similares. Por otro lado, Salvador *et al.* (2016), reportó para una región subtropical, una producción 7.0 kg de leche vaca⁻¹día⁻¹, en vacas Pardo Suizo, con similar nivel de suplementación y pastoreo extensivo en potreros con *Cynodon plectostachyus*. Sin embargo, la producción fue superior a la que se obtuvo con vacas doble propósito en Veracruz, que bajo un manejo tradicional se registró una producción promedio de 3.15 litros de leche vaca⁻¹ día⁻¹ (Vilaboa y Díaz, 2009). Esta diferencia en producción de leche, posiblemente se debió a dos factores importantes; al cruzamiento de vacas *Bos Indicus* (Gyr lechero) con *Bos Taurus*, principalmente Holstein (Román *et al.*, 2013), así como a la mayor disponibilidad y consumo de forraje de leguminosas y gramíneas en el SSPi (Bacab *et al.*, 2013).

7.5. Análisis nutricional de la leche

La composición de la leche se muestra en el Cuadro 5. Los valores de sólidos no grasos y proteína, fueron inferiores a los referidos por la Norma Oficial Mexicana (NMX-F-701-COFOCALEC-2016). Para la característica proteína en leche, Peniche *et al.* (2014) reportó un nivel similar en vacas cruzadas de Holstein x Cebú y alimentadas con *Cynodon plectostachyus*-Leucaena, más 2 kg de concentrado comercial. Por otro lado, se ha reportado un contenido de 4.12% de grasa, en vacas que solo tenían una hora de acceso a bancos de proteína de Leucaena (Razz, Clavero, 2007). El resto de los componentes fue similar a los resultados del estudio antes mencionado. De esta manera, la leche se clasifica como grado "A" por el contenido de grasa y como grado "C" por el contenido de

proteína (Estrada-López, 2018). En ranchos con ganado lechero se encontró que el queso elaborado con leche proveniente de un SSPi presenta mejores características físico-químicas que las del queso elaborado en un sistema tradicional (Solís *et al.*, 2013).

En resumen, la leche que se produjo en el SSPi, de acuerdo con la norma oficial mexicana, cumple con las características nutricionales para consumo humano.

Cuadro 5. Composición nutricional de leche de BDP en la UP bajo SSPi

Característica	SSPi	NMX-F-701
Grasa g/L	36.8 (\pm 0.29)	Mínimo 30 g/L
SNG g/L	78.8 (\pm 2.39)	Mínimo 80 g/L
Densidad g/L	1029.67 (\pm 69)	1,0295 g/L
Proteína g/L	29.0 (\pm 0.94)	Mínimo 30 g/L

Notas: Los datos derivan de la NMX-F-701 (COFOCALEC, 2016), SNG= sólidos no grasos

Fuente: Estrada, 2018.

La composición nutricional de la leche se muestra en el Cuadro 6. Los resultados que se indican para sólidos son menores a los aceptables de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (NMX-F-701-COFOCALEC, 2016), también los valores comparados en cuanto al punto de congelación son menores a los aceptables.

Por otro lado, Farías *et al.* (2007) no encontraron diferencias significativas en cuanto al contenido de grasa, proteína y en la densidad de la leche de vacas en pastoreo de *Panicum maximum* con acceso de 2 h a un banco de *L. leucocephala* y que fueron suplementadas con 1, 2 o 4 kg de concentrado.

Mohammed *et al.* (2016) reportaron que la leche de vacas mantenidas en un sistema silvopastoril de *L. leucocephala* y *C. nlemfuensis* fue parecido en su composición a la leche de vacas que se encontraban en pastoreo de monocultivo de la gramínea. Aún con lo anterior estos autores reportaron mayor aceptación y rendimiento para el queso producido a partir de la leche de las vacas en el sistema silvopastoril.

Además, dichos autores reportaron que la acidez titulable de la leche se mantuvo dentro del rango establecido como normal para leche cruda de buena calidad.

Cuadro 6. Composición nutricional de leche de vacas DP en la UP bajo SSPi

Característica	Media	DE	NOM	FAO
Grasa (g)	36.82	2.94	30 g/L	30-40 g/L
Solidos(g)	78.76	5.09	83 g/L	80 g/L
Densidad*	1,029.67	17.64	1,029	1,029
Proteína(g)	28.83	1.92	30 g/L	35 g/L
Conductividad (ms/cm)	4.52	0.359	-	-
Lactosa(g)	43.64	2.91	43-52 g/L	51 g/L
Punto de congelación (-°c)	0.49	0.037	-0,510 (-0,530) -0,536 (-0,560)	-
Sales(g)	6.33	0.42	-	-

Fuente: Estrada (2018), COFOCALEC (2016) y FAO (2023).

7.6. Análisis económico

El Cuadro 7 muestra la inversión fija requerida para el desarrollo de la UP. El precio de la leche y carne, así como el costo de mano de obra e insumos utilizados, fueron los que se registraron en la propia UP durante el periodo de monitoreo y se ven reflejados en el Cuadro 13. También se reportan los ingresos en términos de ganancia por hectárea y por vaca. Se registró un margen neto en la UP de \$159,842.00, los cuales fueron obtenidos tomando en cuenta la amortización de los costos fijos, de tal manera que para cada año de trabajo en el SSPi se consideró la inversión total inicial. De esta manera se observó una recuperación del capital invertido en los primeros seis años de operación, manteniéndose dentro del rango de 4-7 años indicado por Cuartas *et al.*, (2014) para sistemas de doble propósito bajo SSPi.

Por otro lado, González (2016) reportó una recuperación de capital en 7 años, para una engorda de bovinos en SSPi, posiblemente el tiempo de recuperación del capital para el presente estudio se debió al aporte económico extra por la venta de leche.

Cuadro 7. Inversión fija de la UP bajo manejo de SSPi en Apatzingán, Michoacán, México para 2019 (Año 3)

Activo	Proyecto establecido con el SSPi
Superficie de riego (ha)	48
Superficie de pastizal natural (ha)	10
Superficie con construcciones e instalaciones (ha)	1
Valor de las tierras en pesos	\$261,000.00
Construcciones e instalaciones	\$98,400.00
Maquinaria y equipo	\$33,333.33
Pie de cría	\$189,200.00
Plantación y mantenimiento del SSPi, en 48 ha	\$130,176.00
Total	\$712,109.33

Fuente: Elaboración propia.

Las adquisiciones fueron amortizadas de la siguiente manera: tierra a 20 años, construcciones e instalaciones a 25 años, la maquinaria y equipo a 15 años y las vacas y la plantación del SSPi a 5 años, de acuerdo con las indicaciones de García Martínez, 2008.

En el Cuadro 8 se muestra el análisis económico de los tres escenarios, observando diferencias notorias en cuanto a número de vacas y carga ganadera (UA ha⁻¹). En este sentido, en el año dos fue donde se incrementó el número de vacas, duplicando el año uno y triplicando el año 3.

Cuadro 8. Características estructurales de la UP a través del tiempo de actividad

	Carga animal (UA ha ⁻¹)	2.25	4.62	1.33
Variable		Año 1	Año 2	Año 3
Ha. Superficie Total (ST)		58.0	58.0	58.0
% ha de superficie cultivada con Leucaena/Tanzania		82.8	82.8	82.8
% ha de superficie con pastizal natural		17.2	17.2	17.2
Mano de Obra Total (MOT)		5.0	5.0	5.0
% mano de obra directa/MOT		60.0	60.0	60.0
% mano de obra indirecta/MOT		40.0	40.0	40.0
No. de vacas total		86.0	154.0	50.0
% vacas en producción/vacas totales		69.8	53.2	70.0
% vacas secas/vacas totales		30.2	46.8	30.0
No. de novillas		25.0	41.0	11.3
No. de novillos		40.0	90.0	18.0
No. de becerros		40.0	90.0	18.0
Unidades Animales totales (UA)		154.8	267.93	97.3
% UA vacas en producción/UA		38.8	35.03	22.6
% UA vacas secas/UA		16.8	30.75	9.7
% UA vaquillas/UA		12.1	8.84	7.3
% UA novillo/UA		19.4	20.90	11.6
% UA becerro/UA		12.9	4.48	11.6

Fuente: elaboración propia

En el Cuadro 9, se evidencian de mejor manera esas diferencias que se dieron durante los primeros cinco años de actividad a partir del establecimiento del sistema silvopastoril, el número de vacas se incrementaron del año uno al año dos de evaluación y disminuyeron en el año tres. En la mayoría de las variables analizadas, se observó una disminución considerable. Solo se notó un incremento notorio en el porcentaje de vacas en producción y número de becerros.

Cuadro 9. Cambios experimentados por la UP durante los tres años de evaluación

	Carga animal (UA ha ⁻¹)	2.25 vs 4.62	4.62 vs 1.33
Variable		Año1 vs Año2	Año2 vs Año3
No. de vacas total		79.07	-208.00
% vacas en producción/vacas totales		-23.78	24.00
% vacas secas/vacas totales		54.97	-56.00
No. de novillas		64.00	-262.83
No. de novillos		125.00	-400.00
No. de becerros		125.00	-400.00
Unidades Animales totales (UA)		73.08	-175.36
% UA vacas en producción/UA		-9.72	-55.00
% UA vacas secas/UA		83.04	-217.01
% UA novillas/UA		-26.94	-21.10
% UA novillo/UA		7.73	-80.17
% UA becerro/UA		-65.27	61.38

Fuente: elaboración propia

En el Cuadro 10 se muestra la estructura y precios de venta de productos en Apatzingán, Michoacán de acuerdo con SNIIM (2022). Es importante resaltar que la novillas se vendieron para reposición y la mayoría de los machos para abasto.

Cuadro 10. Lista de precios de venta de ganado en canal

Tipo	Peso promedio	Precio canal mínimo (\$/kg)	Precio canal máximo (\$/kg)
Ternero	254	73	74
Novillona	252	69	70
Toros	254	66	67
Vacas	250	53	55

Fuente: SNIIM, 2022.

En el Cuadro 11, se muestra la estructura de los costos e ingresos de la producción, en función de la carga ganadera y de los productos obtenidos e insumos comprados.

El precio de la carne en Apatzingán de acuerdo con el SIAP (2022a), para el periodo de estudio (2019), fue de \$61.29 en canal y \$6.70 por litro de leche. Mientras que el precio de sorgo se mantuvo en 4 pesos (SIAP, 2022b) y el costo de oportunidad de la mano de obra en \$250.00 jornal⁻¹ día⁻¹.

En el Cuadro 12, se muestra la estructura de los costos de producción y los ingresos generados. Para el nivel de producción proyectado a 1 UA ha⁻¹, se observó que el VAN, fue mayor a cero y la TIR supero la tasa de descuento del 15 %, lo que indicó que la inversión en el SSPi, fue rentable al superar la tasa mínima de rentabilidad exigida a la inversión (Cuadro 7). Asimismo, la relación beneficio costo fue en aumento del año uno al año tres lo cual comprueba la rentabilidad de la actividad.

En el Cuadro 13, se muestra las diferencias entre los años de evaluación. Se observa un incremento importante del año uno al año dos de evaluación y una reducción importante

en las mayoría de las variables entre el año dos y tres de evaluación. Así por ejemplo, se observó un incremento de 127% en el MN de año uno al año dos y una disminución mínima en el año tres, respecto al año tres. La misma tendencia se observó en el ingreso ha^{-1} y en el VAN. Sin embargo, el ingreso por vaca⁻¹, en TIR y en la relación B/C se observó una tendencia de crecimiento.

Cuadro 11. Análisis económico financiero de la UP en función de la carga ganadera (UA ha⁻¹) en un SSPi

Variable	Año 1		Año 2		Año 3	
	Cantidad	Precio (\$)	Cantidad	Precio (\$)	Cantidad	Precio (\$)
Producción de leche (kg año ⁻¹)	200,469.50	5.50	292,715.30	5.50	124,939.50	6.70
Producción de carne (kg año ⁻¹)	16,400.00	44.50	22,140.00	51.34	16,194.00	61.29
Venta de carne de vaca (kg año ⁻¹)	0.00	0.00	15.00	38.35	5.00	55.00
Sorgo (kg año ⁻¹)	81,760.00	4.00	196,735.00	4.00	47,693.33	4.00
Mano de obra (jornales año ⁻¹)	5.00	250.00	5.00	250.00	2.00	250.00

Fuente: Elaboración propia. Nota: \$= pesos. El periodo considerado de vida útil de las vacas fue de 5 años.

Cuadro 12. Relación de costos e ingresos

Venta de productos	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3
Producción de leche total anual (kg)-1	1,178,001.00	1,345,287.90	837,094.65
Producción de carne (kg año ⁻¹) ^a	729,800.00	1,136,667.60	992,530.26
Venta de carne de vacas de desecho	0.00	287,625.00	68,750.00
Ingresos totales	1,907,801.00	2,769,580.50	1,898,374.91
Costos de producción			
Sorgo*	327,040.00	786,940.00	190,773.33
Tierra	261,000.00	261,000.00	261,000.00
Construcciones e instalaciones (\$)	98,400.00	98,400.00	98,400.00
Maquinaria y equipo (\$)	33,333.33	33,333.00	33,333.33
Pie de cría (\$)	189,200.00	189,200.00	189,200.00
Establecimiento y mantenimiento del SSpi	130,176.00	130,176.00	130,000.00
Mano de obra	456,250.00	456,250.00	182,500.00
Mantenimiento	24,000.00	24,000.00	24,000.00
Comercialización de productos	73,000.00	73,000.00	73,000.00
Egresos totales	1,592,399.33	2,052,299.00	1,182,206.66
MB	315,401.67	717,281.50	716,168.25
Ingreso/ha	5,437.96	12,369.96	12,347.73
Ingreso/vaca	5,256.69	8,749.48	20,461.95
VAN	1,938,006.73	4,407,381.24	4,400,543.87
TIR	15%	33%	60%
R=B/C	1.20	1.35	1.61

Fuente: elaboración propia.

^a Se incluye la venta de terneros y novillas.

Cuadro 13. Cambios experimentados por la UP durante los tres años de evaluación (%)

Variable	2.25 vs 4.62	4.62 vs 1.33
Venta de productos	Año1 vs Año2	Año2 vs Año3
Producción de leche total anual (kg) ⁻¹	14.20	-60.71
Producción de carne (kg año ⁻¹) ^a	55.75	-14.52
Venta de carne de vacas de desecho	287.00	-318.36
Ingresos totales	45.17	-45.89
Costos de producción		
Sorgo*	140.63	-312.50
Tierra	0.00	0.00
Construcciones e instalaciones	0.00	0.00
Maquinaria y equipo	0.00	0.00
Pie de cría	0.00	0.00
Establecimiento y mantenimiento del SSpi	0.00	-0.14
Mano de obra	0.00	-150.00
Mantenimiento	0.00	0.00
Comercialización de productos	0.00	0.00
Egresos totales	28.88	-73.60
MN	127.42	-0.16
Ingreso/ha	127.47	-0.18
Ingreso/vaca	66.44	57.24
VAN	127.42	-0.16
TIR	120.00	45.00
R=B/C	12.50	16.15

Fuente: elaboración propia.

^a Se incluye la venta de terneros y novillas

En el Cuadro 14 se muestra el punto de equilibrio para los tres años analizados. Es decir, el momento en que los indicadores económicos de la unidad de producción cubren sus gastos fijos y variables. En otras palabras, cuando se logró vender lo mismo que se gastó se alcanza el punto de equilibrio. A partir de estos montos, se obtendrán la ganancia de la UP.

Cuadro 14. Punto de equilibrio de la producción de carne y leche

Punto de equilibrio	Año 1		Año 2		Año 3	
	Leche	Carne	Leche	Carne	Leche	Carne
Costo de producción del kg de leche	4.90	37.14	3.41	38.04	4.17	38.17
Utilidad bruta	0.60	7.36	2.09	13.30	2.53	23.12
Producción por año	1,651,810.20	82,800.29	475,977.94	15,865.93	206,242.47	26,732.06
Producción mensual	55,060.34	2,760.01	15,865.93	2,111.58	6,874.75	891.07

Fuente: Elaboración propia.

VIII. DISCUSIÓN

En distintas situaciones se han encontrado limitantes en cuanto a los parámetros logrados mediante pastoreo que han condicionado la eficiencia a lo largo de la cadena de producción láctea. La diversidad en cuanto a la cantidad de leche producida, la estacionalidad de la producción que está dada por la época de lluvia o sequía y el porcentaje de sólidos en la leche se han considerado como las principales dificultades (MADR, 2007). Los forrajes con bajo contenido de proteína bruta y carbohidratos solubles, alta concentración de fibra en detergente neutro, poca digestibilidad aparente y, por tanto, bajo contenido de energía metabolizable (Ku-Vera *et al.*, 2014; Barahona *et al.*, 2014) constituyen la principal fuente de alimento para los rumiantes en el trópico (Devendra y Leng, 2011). La unidad de producción en el año dos de evaluación se probó con más de cuatro UA, presumiendo que la producción de forraje era altamente disponible. Esta situación no es normal en un sistema en condiciones de trópico seco, ya que la carga máxima se encuentra entre 0.6 y 0.95 (García-Martínez *et al.*, 2015), aún así se probó dadas las condiciones de manejo de la UP. Esta situación sin duda, traería dificultades a corto plazo, sobre todo, en el deterioro de las superficies de pastoreo. Para el manejo de los animales en los potreros cabe resaltar que el periodo de sequía durante ese año uno de evaluación, se extendió durante dos meses más iniciando hasta el inicio del mes de agosto del mismo año lo que representó un caso atípico para la región, debido a lo anterior se implementaron sistemas de riego, alcanzando de esta manera una producción cercana a los 2,400 kg de MS por ha⁻¹ (Estrada-López, 2017), lo que supuso una limitante para mantener la carga ganadera. Un aspecto a resaltar en el estudio anterior es que en la época de secas *L. leucocephala* aporta una considerable oferta de forraje; ante ello, la incorporación de esta leguminosa constituye una fuente importante de alimentación animal, sobre todo en la época con menor disponibilidad de pastos (Shelton, 1996). En una de las más recientes revisiones, López-Vigoa *et al.* (2017) argumentaron que los sistemas silvopastoriles brindan una alta disponibilidad de biomasa comestible para el ganado, que equivalen a una dieta de 11 a 16% de proteína cruda, y

que permiten producciones de leche de 10-12 kg/vaca/día y entre 3000 y 16000 kg/ha/año.

Para el caso de la producción promedio de leche que fue de 8.6 (± 3.19) kg vaca⁻¹ día⁻¹ en se encuentra dentro del rango establecido por Sánchez *et al.* (2006), que señalan que con el establecimiento de sistemas silvopastoriles es posible producir de 8 a 10 kg vaca⁻¹ día⁻¹ a menor costo, como resultado de una baja utilización de insumos externos, tales como fertilizantes y alimentos concentrados comerciales. Por otra parte, Tinoco-Magaña *et al.* (2012) en Yucatán, obtuvieron valores de 10.5 kg de leche/vaca/día, en vacas cruce de *B. taurus* x *B. indicus*, con 4 h de acceso a un banco de leucaena y con suplementación mínima de sorgo molido (aproximadamente 200 g/vaca/día). En el mismo sitio experimental, Peniche *et al.* (2014) reportaron que la producción de leche de vacas Cebú x Holstein, con acceso a una asociación de *L. leucocephala* y por 4 horas (11.9 kg/vaca/día), fue similar a las vacas que recibieron el doble de alimento concentrado (13.97 vs 1.97 kg/vaca/día) y que no tuvieron acceso a la asociación leguminosa-gramínea (12.2 kg/vaca/día).

Por su parte recientemente, Mohammed *et al.* (2016) reportaron que la leche de vacas mantenidas en un sistema silvopastoril de *L. leucocephala* y *C. nlemfuensis* fue similar en su composición a la leche de vacas en pastoreo de monocultivo de la gramínea. Sin embargo, los mismos autores reportaron mayor aceptación y rendimiento para el queso producido a partir de la leche de las vacas en el sistema silvopastoril, como sucedió con las características químicas y físicas de la leche en este estudio.

Otro aspecto importante es el hecho de que en los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) con gramíneas, leguminosas herbáceas y arbóreas en alta densidad (15,000 plantas ha⁻¹), donde existe gran diversidad de la dieta ofrecida y la consumida, así como un mayor componente de leguminosas que de gramíneas, se produce una mejora de tal magnitud en la calidad nutricional de la dieta que es posible ampliar la carga a 2.5 UGM ha⁻¹ y reducir la oferta de forraje a solo 25-30 kg de MS/vaca/día (Hernández *et al.*, 2011).

De esta forma, se puede incrementar la producción de leche por hectárea de 3, 000 a 6, 000 kg año⁻¹ sin afectar la producción individual (10 kg vaca⁻¹día⁻¹). Cuando el contenido de PB en la dieta es mayor y el aporte es más elevado a los requerimientos nutricionales de las vacas en producción, sobre todo en el comienzo de la lactancia, la producción de leche se estimula aún cuando la energía metabolizable de la dieta sea insuficiente con relación a las necesidades de los animales, ya que esta es garantizada gracias a las reservas corporales, lo que conlleva a una pérdida progresiva de la CC (Estrada-López *et al.*, 2015).

Lo que indicó claramente el beneficio de incrementar la carga animal, tanto en producción de leche como en producción de carne, por unidad de área. Este incremento en rentabilidad se debió principalmente al aumento en ventas de leche, de vacas de desecho, de novillos y becerros por unidad de área, para las condiciones de mercado durante el periodo de estudio. Los resultados económico financieros de la UP bajo SSPi, indicaron la necesidad de mantener elevada la carga animal como fue el caso del año dos de evaluación, logrando así un mayor margen de ganancia. Sin embargo, de acuerdo con García-Martínez *et al.* (2015), esta decisión resulta en un deterioro de la UP y limita considerablemente mantener la carga ganadera por la notable reducción en la producción de forraje. A su vez, el ajuste de carga ganadera para el año tres de evaluación, logro mantener la producción de leche y la venta de productos de la ganadería, el margen MB, el VAN, la TIR y la relación beneficio costo, lo que mantuvo la rentabilidad de la UP, sin comprometer la estabilidad del sistema de producción de forraje. Por lo anterior, el incremento en las carga ganadera a más de 4 UA, no garantizará la rentabilidad, bajo condiciones productivas y de mercado diferentes.

IX. CONCLUSIONES

El sistema de bovinos de doble propósito manejado mediante silvopastoreo intensivo, favoreció la producción de leche, permitió el incremento de la carga ganadera en el año dos de evaluación. Sin embargo, fue necesario un ajuste importante para el año tres de evaluación por las dificultades que ya suponía el manejo general. Mediante la gestión del SSPi, el sistema de BDP resultó viable y rentable tanto en el sistema con carga animal baja, como con carga animal alta, ya que tanto el VAN, el RBC y TIR presentaron valores altos en ambos casos, durante el periodo y escenarios analizados. Sin embargo, el incremento en la carga animal, puede desencadenar en el deterioro del sistema en general, por lo que el ajuste a la carga animal recomendada para este tipo de sistemas 1 UA ha⁻¹ año⁻¹ mostró una eficiencia productiva, a la vez que se conservan los recursos con que cuenta la UP bajo un sistema de manejo SSP.

X. RECOMENDACIONES

Se recomienda promover el uso de SSP en toda la región teniendo en cuenta que los ya implementados muestran ventajas con respecto a los sistemas de producción tradicionales de la zona tanto en el aumento de la producción como en la disminución de costos de producción. Además, estos sistemas promueven la producción ganadera de manera sostenible con el medio ambiente, ayudando en la recuperación de suelos degradados.

Que exista una mayor presencia del servicio de asistencia técnica, de manera que se mejoren las prácticas ganaderas y así, aumentar la producción de leche y disminuir costos.

Ajustar la carga ganadera en función de la recomendaciones para el manejo de este tipo de sistemas productivos, con el objetivo de conservar los recursos de la propia UP.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad Autónoma del Estado de México por el financiamiento del proyecto Evaluación de la sostenibilidad de la ganadería bovina en México, Argentina y Paraguay, desde un enfoque territorial: situación actual y perspectivas ante retos sociales, ambientales, económicos y tecnológicos. Tercera Fase. Clave de Convenio 4787/2019CIC en el cual se insertó este trabajo. Asimismo, al Cuerpo Académico en Sistemas de Producción Animal y Recursos naturales (CASPAREN) y la participación y apoyo del titular del Rancho Las Tinajas del Dr. Isael Estrada López, así como al personal que lo gestiona.

XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez-Hernández, J.C., et al. (2011). Uso de fertilizantes químicos y orgánicos en cebolla (*Allium cepa* L.) en Apatzingán, Michoacán, México." Avances en Investigación Agropecuaria, Gale One File: Informe Académico, link.gale.com/apps/doc/A272078870/IFME?u=anon~a1773dfe&sid=googleScholar&xid=c26e1bab. Accessed 9 June 2022.
- Álvarez-Hernández, J.C., Venegas-Flores, S., Soto-Ayala, C., Chávez-Vargas, A. y Zavala-Sánchez, L. (2011). Uso de fertilizantes químicos y orgánicos en cebolla (*Allium cepa* L.) en Apatzingán, Michoacán, México. Avances en Investigación Agropecuaria. 1-29. Disponible en: <https://link.gale.com/apps/doc/A272078870/IFME?u=anon~a1773dfe&sid=googleScholar&xid=c26e1bab>. Consultado: Junio de 2022.
- Anderson, S. & Wadsworth, J. (1995). Proceeding of the International Workshop on Dual Purpose Cattle Production Research. IFS, UADY. Mérida, Yucatán, México, 368 pp.
- Avendaño, A. & Acosta, R. I. (2000). Plantas utilizadas como cercas vivas en el Estado de Veracruz. Madera y Bosque, 6 (1): 55-71 pp.
- Bautista, T. M., López, O. S., Pérez, H. P., Vargas, M. M., Gallardo, L. F. & Gómez, M. F. (2011). Sistemas agrosilvopastoriles en la comunidad el Limón, municipio de Paso de Ovejas, Veracruz, México. Tropical and Subtropical Agroecosystems. 14: 63-76.
- Betancourt, K., M. Ibrahim, C. Villanueva & B. Vargas. (2005). Efecto de la cobertura arbórea sobre el comportamiento animal en fincas en Matiguás, Matagalpa, Nicaragua. Livestock Research for Rural Development. 17 (7): 81-93.
- Bustamante, J. & Romero, F. (1991) Producción ganadera en un contexto agroforestal: Sistemas silvopastoriles. Carta de RISPAL. No. 20, 3 pp.

- CATIE. (1999). Agroforestería en las Américas. (Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza). 6 (23): 4 pp.
- Chacón-León, M. y C.A. Harvey, (2006). Live fences and landscape connectivity in a neotropical agricultural landscape. *Agroforestry Systems*. 68: 15-26.
- Chará, J., Murgueitio, E., Uribe, F. & Montoya, S. (2015). Carne sostenible con bienestar animal. *Sistemas de carne*. Cali, Colombia: Fundación CIPAV. 16-20.
- COFOCALEC. (2016). NMX-F-701-COFOCALEC-2016. Sistema producto leche-alimentos-lácteos-determinación de cenizas en quesos-método de prueba NMX-F-607-NORMEX-2013. Alimentos determinación de cenizas en alimentos-Método de prueba, (Cancela a la NMX-F-607-NORMEX-2002). Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el DOF: 01/03/2018.
- COPES, W. J. (2012). Evaluación de barreras vegetales para mitigar la deriva de pulverizaciones. Tesis de Maestría. Universidad Nacional del Comahue. 94 pp.
- Cruz-Morales, J; Trujillo-Vázquez, RJ; García-Barríos, LE; Ruiz-Rodríguez, JM; Jiménez-Trujillo, JA. 2011. Buenas prácticas para la ganadería sustentable en la Reserva de la Biosfera La Sepultura, Chiapas, México. Universidad Autónoma Chapingo, Colegio de la Frontera Sur, Conservación Internacional México, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 121 pp.
- Cuartas, C. A., Naranjo, J. F., Tarazona, A. M. & Barahona, R. (2013). Uso de la energía en bovinos pastoreando sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* y su relación con el desempeño animal. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 8 (1): 70-81. Disponible en: <http://revistas.ces.edu.co/index.php/mvz/article/view/2858/2065>.
- Cuartas, C. A., Naranjo, J. F., Tarazona, A. M., Barahona, R. R., Rivera, J. E., Arenas, F. A. & Correa, G. A. (2015). Valor nutritivo y cinética de fermentación *in vitro* de

mezclas forrajeras utilizadas en sistemas silvopastoriles intensivos. *Zootecnia Trop.* 33 (4): 295-306.

Cuartas, C. A., Naranjo, J. F., Tarazona, A. M., Murgueitio, E., Chará, J. D., Ku Vera. & J...Barahona. R. (2014). Contribution of intensive silvopastoral systems to the adaptation and mitigation of climate change. *Rev. Cienc. Pecuaria*, 27:76-94. Disponible en: <http://rccp.udea.edu.co/index.php/ojs/article/viewFile/920/1048>. (Consultado el 5 de julio de 2021).

Cuevas, V.R., Espinoza, G.J.A., Moctezuma, L.G., Jolalpa, J. L., Romero, S.F., Vélez, I.A., Flores, M.B.A. & Vázquez, G.R.(2007). La cadena Agroalimentaria de la leche de vaca en el Estado de Hidalgo: Diagnóstico y prospección al año 2020. 54-59.

Dagang, A.B.K. & Nair,P.K.R. (2003). Silvopastoral research and adoption in Central America: recent findings and recommendations for future directions. *Agroforestry Systems*, 59: 149-155.

EMDM. (2022). Apatzingán, estado de Michoacán de Ocampo. Disponible en: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM16michoacan/municipios/16006a.html>. Consultado: junio de 2022.

Estrada, A. (2008). Fragmentación de la selva y agrosistemas como reservorios de conservación de la fauna silvestre en Los Tuxtlas, México. En: Harvey, C.A. y J.C. Sánchez (Eds.). Evaluación y conservación de biodiversidad en paisajes fragmentados de Mesoamérica. INBIO.

Fadul, L., Wattiaux, M. A., Espinoza, A., Sánchez, V. & Arriaga, C.M. (2013). Evaluation of sustainability of smallholder dairy production systems in the highlands of Mexico during the rainy season. *Agroecology and Sustainable Food Systems*,. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/21683565.2013.775990>. 37(8): 882-901.

FAO (2023). Portal lácteo. Composición de la leche. Disponible en: <https://www.fao.org/dairy-production-products/products/composicion-de-la-leche/es/>. Consultado: Octubre de 2023.

- FAO. (2017). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en: <http://www.fao.org/mexico/fao-en-mexico/mexico-en-una-mirada/en/> (Consultado el 15 mayo de 2021).
- Faría MJ, Chirinos Z y Morillo D. (2007). Efecto de la sustitución parcial del alimento concentrado por pastoreo con *Leucaena leucocephala* sobre la producción y características de la leche y variación de peso de vacas mestizas. *Zootecnia Tropical*. 25(4).
- Faría, M. J. (1996). Evaluación de accesiones de *Leucaena leucocephala* a pastoreo en el bosque seco tropical II. Valor nutritivo. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*. 13: 179-190.
- Flores, H.E., Olmos, J. J., Ramírez, H., Fuentes, V. O., Reynoso, O. & Moreno, H. (2007). Caracterización del sistema de producción de leche de la cuenca hidrográfica El Jihuite, Jalisco, México. *Memorias del II Congreso Internacional de Producción Animal Tropical*. 26al 29 de noviembre. La Habana, Cuba.
- Fuentealba, B. (2014). Selección, manejo y adopción de especies leñosas nativas para el enriquecimiento de los sistemas ganaderos tropicales. Tesis doctoral, UNAM.
- García, D. G. (2003). Competitividad y ventajas comparativas de los sistemas de producción de leche en el estado de Jalisco, México. *Agrociencia* 37 (1): 31-36.
- García, J. G., Mariscal, D. V., Caldera, N. A., Ramírez, R., Estrella, Q. H., & Núñez, D.R. (2007). Variables relacionadas con la producción de leche de ganado holstein en agroempresas familiares con diferente nivel tecnológico. *Interciencia*. 32 (12): 841-846. [Fecha de Consulta 13 de Julio de 2021]. ISSN: 0378-1844. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33913507>.
- García-Martínez. A., Piedra-Matias, R., Hernández-Dimas, G., & Rebollar, R. R. (2011). Los sistemas de ganado bovino en el municipio de Tlatlaya. Situación económica actual. En *Cavalloti, V. B. A., Ramírez, V.B., Martínez, C. F. E., Marcof, A. C. F.,*

Marcof & Cesín , V. A. La ganadería ante el agotamiento de los paradigmas dominantes. Universidad Autónoma Chapingo. Vol. 2. 219-231.

Gaviria, X., Naranjo, J. F. & Barahona, R. R. (2015). Nutritional quality and fractionation of carbohydrates and protein in the forage components of an intensive silvopastoral system. *Pastos y Forrajes*, 38 (2):194-201 pp. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942015000200007.

Gaviria, X., Naranjo, J. F. & Barahona, R. R. (2015). Cinética de fermentación in vitro de *Leucaena leucocephala* y *Megathyrsus maximus* y sus mezclas, con o sin suplementación energética. *Pastos y Forrajes*. 38 (1):55-63 pp. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942015000100006.

Gaviria, X., Sossa, C. P., Chará, J., Barahona, R. R., Lopera, J. J. & Córdoba, C. P. (2012). Producción de carne bovina en sistemas silvopastoriles intensivos en el trópico bajo colombiano. *Memorias VII Congreso Latinoamericano de sistemas agroforestales para la producción animal sostenible*. Belém do Pará, Brasil. 661-665pp. 2012. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/262936613_Produccion_de_Carne_Bovina_en_Sistemas_Silvopastoriles_Intensivos_en_el_Tropico_Bajo_Colombiano.

González, G. J. C., Madrigal, S. A. X., Ayala, B. A., Juárez, C. & Gutiérrez, V. E. (2006). Especies arbóreas de uso múltiple para la ganadería en la Región de Tierra Caliente del Estado de Michoacán, México. *Livestock Research for Rural Development*, 18 (8): 19-33. Recuperado de: <http://www.lrrd.org/lrrd18/8/gonz18109.htm>.

González, J. M. (2013). Costos y beneficios de un sistema silvopastoril intensivo (SSPi), con base en *Leucaena leucocephala* (Estudio de caso en el municipio de

Tepalcatepec, Michoacán, México). RIA. 17 (3):35-50. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83728497004>.

Grande, D., Estrada, D., Cruz. L., Losada, H., Rivera, J., Maldonado, M., Nahed, J. & Pérez, F. F. (2006). Evaluación de cercos vivos en la Región de la Sierra de Tabasco. En: III Reunión Nacional sobre Sistemas agro y silvopastoriles, 10-12 julio, UAM, México.

Guevara, S., Laborde, J., Leisenfeld, D. & Barrera, O. (1997). Potreros y ganadería En: González-Soriano, E., R. Dirzo y R.C.Vogt (Eds.). Historia Natural de Los Tuxtlas. UNAM, México. 43-58.

Gutiérrez, C. J. G., Aguilera, G.L.A., González, E. C. E., & Juan, P. J. I. (2012). Evaluación de la sustentabilidad posterior a una intervención agroecológica en el subtrópico del Altiplano Central de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 15: 15-24.

Guzmán K. (2013). La industria láctea en Valledupar: primera en la región Caribe [online]. Disponible: http://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/dtser_184.pdf/. Consultado: 25 de septiembre de 2021.

Harding F. Milk quality. Glasgow; Chapman and Hall; 1995.

Harvey, C. A., Villanueva, C., Villacís, J., Chacón, M., Muñoz, D., López, M... Sinclair, F. L. (2005). Contribution of live fences to the ecological integrity of agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 111 (1): 200-230.

Harvey, C.A., Tucker, N. I. & Estrada, A. (2004). Live fences, isolated trees, and windbreaks: Tools for conserving biodiversity in fragments tropical landscapes. En: Schroth, G., Fonseca, G.A.B., Harvey, C. A., Gascon, C., Vasconcelos, H. L. & Izac, A.M.N. (Eds.). *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes*. Island Press, Washington, D. C. pp.

- Havlík, P., Valin, H., Mosnier, A., Obersteiner, M., Baker, J. S. & Herrero, M. (2013). Crop productivity and the global livestock sector: Implications for land use change and greenhouse gas emissions. *Am. J. Agric. Econ.* 95 (2): 442-448.
- Hernández, D.; Carballo, Mirta & Reyes, F. (2011). Manejo racional de una multiasociación árboles-pastos. En: Milagros Milera, ed. *André Voisin. Experiencia y aplicación de su obra en Cuba*. Matanzas, Cuba: EEPF Indio Hatuey. 513-535.
- Hernández, H. J., López, O. S., Villarroel, F. M., Lorea, H. F. G. & Torres, R. J. A. (2006). Vegetación nativa de los agostaderos de la comunidad San Julián Veracruz: Importancia y potencial para la producción animal. En: III Reunión Nacional sobre Sistemas agro y silvopastoriles, 10-12 julio, UAM, México.
- Hernández, I. & Simón, L. (1993). Los sistemas silvopastoriles: empleo de la agroforestería en las explotaciones ganaderas. *Pastos y Forrajes*. 16-99.
- Hernández, S. & Gutiérrez, M. (1996). Manejo de sistemas agrosilvopastoriles. Disponible en: <http://www.research4development.info/PDF/>. Consultado: 18 de junio de 2021.
- Herrero, M., Thornton, P. K., Gerber, P. & Reid, R.S. (2009). Livestock, livelihoods and the environment: understanding the trade-offs. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1 (2): 111-120.
- INTA. (2004). Sistemas de producción de leche en el mundo (en línea). Disponible en: http://www.inta.gov.ar/expo/intaexpone/intaexpone04/charlas/saubidet/estrategias_manejo.pdf. Consultado: 16 de junio de 2021.
- Jiménez, F. G., López, C. M., Nahed, T. J., Ochoa, G. S. & Jong, B. (2008a) . Árboles y arbustos forrajeros de la región norte-tzotzil de Chiapas, México. *Veterinaria México*, 39 (2): 199-213.

- Jiménez, F. G., Velasco, P. R., Uribe, G. M. & Soto, P. L. (2008b). Ganadería y conocimiento local de árboles y arbustos forrajeros de la selva Lacandona, Chiapas, México. *Zootecnia Tropical*, 26 (3): 333-337.
- KOPPEL, R. E. T. (2002). Manejo de ganado bovino de doble propósito en el trópico. Libro técnico 5. 2 ed. Veracruz, México: INIFAP-CIRGOC. 8 pp.
- Koppel, R. E. T., Padilla, R. F. J., Hernández, L.J.J., Román P.H., Pérez, S. J. & Castillo, R. H. (1984). Comportamiento reproductivo del hato bovino lechero en clima tropical. 4. Duración del estro, ovulación y respuestas fisiológicas en tres genotipos en dos estaciones del año. *Técnica Pecuaria en México* 47: 71-77.
- Krishnamurthy, L., Rajagopal, I. & Arroyo, G. A. (2003). Alternativas Productivas: Introducción a la Agroforestería para el Desarrollo Rural. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable. D. F, México. 11-99 pp.
- Ku-Vera, J.C., Ramírez, A. L., Jiménez, F.G., Alayón, J. A. & L. Ramírez Cancino, (1999). Árboles y arbustos para la producción animal en el trópico Mexicano. FAO, Animal Production and Health Paper 231-258.
- López, O.; Lamela, L.; Montejo, I. L. & Sánchez, T. (2015a) Influencia de la suplementación con concentrado en la producción de leche de vacas Holstein x Cebú en silvopastoreo. *Pastos y Forrajes*. 38 (1):46-54.
- López-Vigoa O, Sánchez-Santana T, Iglesias-Gómez JM, Lamela-López L, Soca-Pérez M Arece-García J y Milera-Rodríguez M. (2017). Los sistemas silvopastoriles como alternativa para la producción animal sostenible en el contexto actual de la ganadería tropical. *Pastos y Forrajes*. 40 (2): 83-95.
- López-Vigoa, O, Sánchez-Santana, T, Iglesias-Gómez, JM, Lamela-López, L, Soca-Pérez, M, Arece-García, J, & Milera-Rodríguez, M. (2017). Los sistemas silvopastoriles como alternativa para la producción animal sostenible en el contexto

actual de la ganadería tropical. *Pastos y Forrajes*, 40(2), 83-95. Recuperado en 20 de mayo de 2022, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942017000200001&lng=es&tlng=es.

Magaña, J. G. (2000). Relación entre el perfil nutricional y niveles de producción de diferentes genotipos de bovinos de doble propósito en el sureste de México. Tesis Doctoral. Universidad de Colima, Colima, México.

Marinidou, E; Jiménez-Ferrer. G. 2010. Sistemas silvopastoriles: uso de árboles en potreros en Chiapas. CONAFOR, ECOSUR. 46 pp.

Martínez, M.R., M. Arias, R. Soriano, E. C. González, V. Sánchez. 2006. Evaluación de arbustivas en la Mixteca Baja Oaxaqueña: II. Digestibilidad in vitro y composición química. Memoria de la III Reunión Nacional Sobre Sistemas agro y Silvopastoriles. México, 152-156.

McNeely, J.A. & Schroth, G. (2006). Agroforestry and biodiversity conservation – traditional practices, present dynamics, and lessons for the future. *Biodiversity and Conservation*, 15 (2): 549-5543.

Medina, C.M. & Montalvo, V. H. (2004). Algunos parámetros productivos y reproductivos en los reemplazos Holstein en el Altiplano Central de México. XIX Congreso Panamericano de Ciencias Veterinarias, 24-28 de Octubre del 2004. Buenos Aires, Argentina. Asociación Panamericana de Ciencias Veterinarias AC. 96 pp.

Milera, M. I., Remy, V. J. y Cabrera, N. (1994). Empleo del banco de proteína de *Leucaena leucocephala* cv. Perú para la producción de leche. *Pastos y Forrajes* 17-79.

Mohammed, M. A. H, Aguilar-Pérez CF, Ayala-Burgos AJ, Bottini-Luzardo MB, Solorio-Sánchez FJ, Ku-Vera JC. (2016). Evaluation of milk composition and fresh soft cheese from an intensive silvopastoral system in the tropics. *Dairy Science & Technology* 96:159-172.

- Mohammed, A. H. M., Aguilar, P. C. F., Ayala, B. J., Bottini, L. M. B., Solorio, S. F. J. & Ku-Vera, J. C. (2015). Evaluation of milk composition and fresh soft cheese from an intensive silvopastoral system in the tropics. *Dairy Sci. Technol.* 96 (2): 159-172.
- Molina, I. C., Cantet, J. M., Montoya, S., Correa, G. & Barahona, R. R. (2013). In vitro methane production from two tropical grasses alone or in combination with *Leucaena leucocephala* or *Gliricidia sepium*. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia.* 8 (2):15-31. pp. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/cmvez/v8n2/v8n2a02.pdf>.
- Montagnini, F. (1992). *Sistemas agroforestales: principios y aplicaciones en los tropicales*. 2ed. San José, CR, Organización para Estudios Trópicos. 622 pp.
- Murgueitio, E. & Ibrahim, M. (2008). Ganadería y medio ambiente en América Latina. En: Murgueitio, E., Cuartas, C., Naranjo, J. (eds.). *Ganadería del Futuro: Investigación para el Desarrollo*. Fundación CIPAV, Cali-Colombia. 19-40.
- Murgueitio, E. y Solorio, B. (2008). El Sistema Silvopastoril Intensivo, un modelo exitoso para la competitividad ganadera en Colombia y México. En: V Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la Producción Pecuaria Sostenible. Universidad Rómulo Gallegos, Universidad Central de Venezuela, Universidad de Zulia. Venezuela (Publicación electrónica).
- Murgueitio, E., Calle, Z., Uribe, F., Calle, A. I. & Solorio, B. (2011). Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forestry Ecology and Management*, 261: 1654-1663.
- Nair, P. K. (1989). *Agroforestry systems in the tropics*. Dordrecht, The Netherlands, Kluwer. 664 pp.
- Nair, P.K.R., Kumar, B.M., Nair, V.D. (2009). Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *J Plant Nut. Soil Sci.* 172: 10-21.

- Navas, A. (2010). Importancia de los sistemas silvopastoriles en la reducción del estrés calórico en sistemas de producción ganadera tropical. *Revista de Medicina Veterinaria* N.º 19, Universidad de La Salle, Colombia.
- Olivares, P. J., Avilés, N. F., Albarrán, P. B., Rojas, H.S. & Castelán, O. O. A. (2011). Identificación, usos y medición de leguminosas arbóreas forrajeras en ranchos ganaderos del sur del Estado de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14: 739-748.
- Orantes, Z. M. A., Vilaboa, A. J., Ortega, J.E. & Córdova, A.V. (2010). Comportamiento de los comercializadores de ganado bovino en la región centro del estado de Chiapas. *Revista Quehacer Científico* 1 (9): 51-56.
- Ortiz, O. G., Avila, D. A., Lagunes, L. J., Castañeda, M. O., López, G. I., Aguilar, B. U., Román, P. H., Villagómez, C. J. A., Aguilera, S. R., Quiroz, V. J., Calderón, R. R. (2022). Manejo de ganado bovino de doble propósito en el trópico. INIFAP. CIRGOC. Libro Técnico Núm. 5. Segunda edición. Veracruz, México. 161 pp.
- Palma, J. M. (2006). Los sistemas silvopastoriles en el trópico seco Mexicano. *Archivos latinoamericanos de producción animal*, 14 (3): 95-104.
- Pech, M. V. C., Carvajal, H. M. & Montes. P.R. (2007). Impacto Económico de la mastitis subclínica en hatos bovinos de doble propósito de la zona centro del estado de Yucatán, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 7: 127-131.
- Pérez, P., Rojo, R., Álvarez, A., & García, J. (2003). Necesidades investigación y transferencia de tecnología de la cadena de bovinos de doble propósito en el estado de Veracruz. Fundación Produce Veracruz. Veracruz, México. 170 pp.
- Pezo, D. A. & Ibrahim, M. (1998). Sistemas silvopastoriles. Colección de Modelos de Enseñanza Agroforestal No. 2. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE. Pp.

- Pezo, D. A., Romero, F. & Ibrahim, M. (1992). Producción, manejo y utilización de los pastos tropicales para la producción de leche y carne. En: S. Fernández-Baca (ed.). Avances en la producción de leche y carne en el trópico americano. FAO. Santiago, Chile. 47-98.
- Pezo, D. A. (1992). Sistemas silvopastoriles. Interacción árbol-pastos. Conferencia Curso Internacional "Desarrollo de Sistemas Agroforestales". CATIE. Turrialba. (Mimeo). 16 pp.
- Pinto, R. R., Gómez, H., Hernández, A., Medina, F., Martínez, B., López, Y., Aguilar, R., Pezo, D., Hernández, D., Nahed, J., Carmona, J., Pérez, G., & I. Camona. (2006). Usos y características nutricionales de árboles forrajeros de tres regiones ganaderas de Chiapas, México. En: III Reunión Nacional sobre Sistemas agro y silvopastoriles, 10-12 julio, UAM, México.
- Quam, V., Johnson, L., Wight, B. & Brandle, J. (1994). Windbreaks for Livestock Operations. Papers in Natural Resources 123. University of Nebraska Cooperative Extension. 7pp. Disponible en: <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1124&context=natrespapers>. Consultado: junio de 2023.
- Quiñones, V.J.J., Sánchez, O. T., Valencia, C. M., Castellanos, P.E. & Macías, G.Y. (2006). Especies vegetales seleccionadas por caprinos en pastoreo en agostaderos áridos del noreste de Durango, México. Memoria de la III Reunión Nacional Sobre Sistemas Agro y Silvopastoriles. México. 82-88.
- Reinoso, M. (2000). Contribución del potencial lechero y reproductivo de sistemas de pastoreo arborizados empleando vacas Siboney de Cuba. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Veterinaria. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Santa Clara, Cuba. 99 pp.

- Reyes, R. B.G., Zamora, V.E., Reyes, R.M.L., Frias, H.J.T., Olalde, P.V. & Dendooven, L. (2003). Decomposition of leaves of huisache (*Acacia tortuosa*) and mesquite (*Prosopis* spp) in soil of the central highlands of Mexico. *Plant and Soil*, 256 (2): 359-370 pp.
- Richardson, A. (2009). Leucaena and rotational grazing at Ten Mile. *Tropical Grasslands*. 43: 225- 226.
- Ríos, N., Cárdenas, A., Andrade, H., Ibrahim, M., Jiménez, F., Sancho, E., Ramírez, B. Reyes & Woo, A. 2007. Escorrentía superficial e infiltración en sistemas ganaderos convencionales y silvopastoriles en el trópico subhúmedo de Nicaragua y Costa Rica. *Agroforestería de las Américas*. 45: 66.
- Rivera, J., Chará, J. & Barahona, R. R. (2016). Análisis del ciclo de vida para la producción de leche bovina en un sistema silvopastoril intensivo y un sistema intensivo convencional bajo condiciones de bosque seco tropical. *Trop. Subtrop. Agroecosyst*. 19 (3):237-251.
- Rivera, J., Naranjo, J. F., Cuartas, C. A. & Arenas, F. A. (2013) Fermentación in vitro y composición química de algunos forrajes y dietas ofrecidas bajo un sistema silvopastoril en el trópico de altura. *LRRD*. 25 (10). <http://www.lrrd.org/lrrd25/10/rive25174.htm>.
- Román, P. H. (1994). Características y transferencia de tecnología de los sistemas bovinos de doble propósito en el trópico. *Memorias. XIV Congreso Panamericano de Ciencias Veterinarias. Excelencia en las Ciencias Veterinarias*, FAO, OPS, OIE, IICA, OIRSA, SARH, CNMVZM, CONASA, AVM, FMVZ-UNAM, INIFAP y AMVZE. Acapulco, Gro., México. 238-239.
- Ruiz, T. E. & Febles, G. (1999). *Sistemas silvopastoriles. Conceptos y tecnologías desarrolladas en el Instituto de Ciencia Animal*. (Eds. T.E. Ruiz & G. Febles). EDICA. La Habana, Cuba. 33 pp.

- Sánchez, H. M. D. (2008). Sistema silvopastoril: Un proyecto exitoso en la huasteca potosina. En: Memorias. Coloquio “Hacia una producción animal sustentable”. Colegio de Posgraduados, México (disponible en CD).
- Sánchez, T., Lamela, L., López, O. & Benítez, M. (2008). Comportamiento productivo de vacas lecheras Mambí de Cuba en una asociación de gramíneas y *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham. *Pastos y Forrajes*. 31(4):371.
- Sánchez, T., Simón, L., Lamela, L., López, O. (2006). Potential of silvopastoral systems for milk production in Cuba. *Pastos y Forrajes*. 29: 295-298.
- Shibu, J. (2009). Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: An overview. *Agroforestry Systems*, 76, 1–10. doi: 10.1007/s10457–009–9229–7.
- SIAP. (2022a). Anuario Estadístico de la Producción Ganadera. Disponible en: http://nube.siap.gob.mx/cierre_pecuario/. Consultado: junio de 2022.
- SIAP. (2022b). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Consultado: junio de 2022.
- SIAP. (2006). Veracruz. Producción pecuaria (bovinos). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México. Disponible en: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>. Consultado: 24 de junio del 2021.
- SNIIM. (2022). Precios de Bovinos : Ganado en Pie (Registros del 03/06/2019). Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados. Disponible en: http://www.economia-sniim.gob.mx/nuevo/Home.aspx?opcion=/SNIIM-Pecuarios-Nacionales/e_MenPec.asp?var=Bov. Consultado: junio de 2022.
- Soto, P. L., Anzueto, M., Mendoza, G., Jimenez, F. B. G & Jong, de B. (2009). Carbon sequestration through agroforestry in indigenous communities of Chiapas, México. *Agroforestry Systems*, 78 (1): 39-51.

- Vaccaro, L. & D. López. (1995). Genetic improvement of dual purpose cattle in Latin America. *Boletín de Información sobre Recursos Genéticos Animales-FAO* 16:15-32.
- Vilaboa, A. J., Días, R. P., Ruíz, R. O., Platas, R. D.E., González, M, S. & Juárez, L. F. (2009). “Caracterización socioeconómica y tecnológica de los agroecosistemas con bovinos de doble propósito de la región del Papaloapan, Veracruz, México”, en *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10:53-62.
- Vilaboa, A.J. & Díaz, R.P. (2009). Caracterización socioeconómica de los sistemas ganaderos en siete municipios del estado de Veracruz, México. *Zootecnia Tropical* 27(4): 427-436.
- Villa, H. A., Nava, T. M. E., López, O.S., Vargas, L.S., Ortega, J. E. & López, F.G.(2009). Utilización del guácimo (*Guazuma ulmifolia* Lam.) como fuente de forraje en la ganadería bovina exten-siva del trópico mexicano. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10 (2): 253-261.
- Villamar, A. L. & Olivera, C. E. (2005). Situación actual y perspectiva de la producción de leche de bovino en México 2005. Coordinación General de Ganadería. México, D. F.: SAGARPA.
- Weather spark. (2022). El clima y el tiempo promedio en todo el año en Apatzingán México. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/y/4138/Clima-promedio-en-Apatzing%C3%A1n-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o>. Consultado: junio de 2022.
- Yamamoto, W. (2007). Effects of silvopastoral areas on milk production at dual-porpose farms at the semi.humid old agricultural frontier in central Nicaragua. *Agricultural Systems*, 94(2): 368-375.

Zahawi, R.A., (2005). Establishment and growth of living fence species: an overlooked tool for the restoration of degraded areas in the tropics. *Restoration Ecology*, 13 (1): 92-102.

XII. ANEXOS