



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS VERACRUZ
POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES

**SELECCIÓN PARTICIPATIVA Y DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE
SUSTENTABILIDAD**

DULCE VIOLETA GARCÍA BONILLA

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTORA EN CIENCIAS

TEPETATES, MANLIO FABIO ALTAMIRANO, VERACRUZ, MÉXICO.

2019



CAMPUS VERACRUZ

COLEGIO DE POSTGRADUADOS

Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas
Campeche-Córdoba-Montecillo-Puebla-San Luis Potosí-Tabasco-Veracruz

"Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

SADER
SECRETARÍA DE AGRICULTURA
Y DESARROLLO RURAL



43-03-03

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, la que suscribe **DULCE VIOLETA GARCÍA BONILLA**, alumna de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta Institución, bajo la dirección del Profesor **PABLO DÍAZ RIVERA**, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis **SELECCIÓN PARTICIPATIVA Y DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD** y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, el Consejero o Director de Tesis y la que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Tepetates, Veracruz, a 06 de noviembre de 2019.

DULCE VIOLETA GARCÍA BONILLA
Firma

DR. PABLO DÍAZ RIVERA
Vo. Bo. Profesor Consejero o Director de Tesis

La presente tesis, titulada: **Selección participativa y determinación de indicadores de sustentabilidad**, realizada por la alumna: **Dulce Violeta García Bonilla**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS
AGROECOSISTEMAS TROPICALES

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



DR. PÁBLO DÍAZ RIVERA

ASESOR:



DR. JOSÉ LÓPEZ COLLADO

ASESOR:



DR. OCTAVIO RUÍZ ROSADO

ASESOR:



DR. JUAN DE DIOS GUERRERO RODRÍGUEZ

ASESOR:



DR. JOSÉ SOLÍS RAMÍREZ

Tepetates. Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México. 07 de noviembre de 2019

SELECCIÓN PARTICIPATIVA Y DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD

Dulce Violeta García Bonilla, Dra.

Colegio de Postgraduados, 2019

La ganadería doble propósito es una de las actividades agropecuarias más diseminadas en el medio rural de las zonas tropicales de Latinoamérica, por su importancia en la producción de alimentos; sin embargo, la actividad ganadera atraviesa por diferentes problemáticas originadas por múltiples factores ambientales, sociales, económicos y tecnológicos. Una forma de evaluar la multidimensionalidad es a partir de la sustentabilidad y observándola como un proceso adaptativo de toma de decisiones que permite un aprovechamiento racional de los recursos naturales y una protección de la diversidad natural de la región. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue seleccionar de manera participativa indicadores a partir de grupos de expertos y productores para posteriormente aplicarlos en los sistemas de producción bovinos doble propósito con la finalidad de coadyuvar la toma de decisiones del manejador y fomentar las acciones sustentables del sistema. La investigación consistió en tres etapas: a) selección de indicadores apropiados al sistema de producción bovino doble propósito, b) medición de los indicadores en las unidades de producción y, c) simplificación de variables. En la primera etapa se escogieron 33 indicadores que se consideraron de importancia para el sistema de producción en estudio. Se midieron en campo los 14 indicadores mejor calificados por grupos de productores y grupo de expertos, mismos que se transformaron en 26 variables. El análisis de similaridad permitió reducir a un total de 11 variables, los cuales fueron en la dimensión ambiental: el índice de Shannon-Wiener, cantidad de coliformes fecales, cantidad de nitratos y salinidad en agua, porcentaje de materia orgánica y erosión en suelo; además del balance de materia seca. En la dimensión económica se consideró importante la relación beneficio/costo, eficiencia productiva y costos de producción. En la dimensión social la escolaridad y consumo de kilocalorías del productor y en la dimensión tecnológica la tasa de gestación y uso de tecnología.

Palabras clave: Ganadería doble propósito, grupo de expertos, indicators, sustainability.

PARTICIPATORY SELECTION AND DETERMINATION OF SUSTAINABILITY INDICATORS

Dulce Violeta García Bonilla, Dra.

Colegio de Postgraduados, 2019

Dual purpose livestock is one of the most widespread agricultural activities in the rural areas of tropical areas of Latin America, due to its importance in food production; however, livestock activity goes through different problems caused by environmental, social, economic and technological factors. One way of assessing multidimensionality is from sustainability and observing it as an adaptive process of management decision making that allows a rational use of natural resources and a protection of the natural diversity of the region. Therefore, the objective of this research was to carry out a participatory selection of indicators from groups of experts and producers to later apply them in the dual purpose bovine production systems to help managers in the decision making process and fosters the sustainable actions of the system. The research consisted of three stages: a) selection of indicators appropriate to the dual purpose bovine production system b) measurement of the indicators in the production units, c) simplification of variables. In the first stage, 33 indicators were chosen that were considered of importance for the production system under study. In the field, 14 best qualified indicators were measured by groups of producers and group of experts, which were transformed into 26 variables. The similarity analysis made it possible to reduced a total of 11 variables, which were in the environmental dimension: the Shannon-Wiener index, amount of fecal coliforms, amount of nitrates and salinity in water, percentage of organic matter and soil erosion; in addition to the balance of dry matter. In the economic dimension the benefit/cost ratio, productive efficiency and production costs were considered important. In the social dimension the schooling and consumption of kilocalories of the producer and in the technological dimension the rate of gestation and use of technology.

Keywords: Livestock dual purpose, group of experts, indicators,

AGRADECIMIENTOS

- Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico que recibí durante mi postgrado.
- Al Colegio de Postgraduados Campus Veracruz, por permitirme realizar mis estudios de doctorado en ciencias en Agroecosistemas Tropicales.
- Al Dr. Pablo Díaz Rivera, por los consejos brindados, enseñanzas, orientación, paciencia y motivación a culminar mi trabajo de investigación y la escritura de la tesis.
- Al Dr. José López Collado, por su apoyo y por motivarme a buscar nuevas metodologías para la mejora de mi trabajo de investigación.
- Al Dr. Juan de Dios Guerrero Rodríguez, por sus enseñanzas y amistad brindada desde mis inicios en la investigación científica.
- Al Dr. Octavio Ruiz Rosado, por su participación en mi trabajo de investigación, enseñanzas y alentarme durante mi estancia en el Colegio.
- Al Dr. José Solís Ramírez, por sus enseñanzas en el proceso de investigación.
- A todos mis maestros del Campus Veracruz, quienes con sus clases y sugerencias me permitieron desarrollar nuevas habilidades, enseñanzas y conocimientos que me permitirán desempeñarme como profesionista.
- Al personal de campo, personal administrativo y de apoyo del Campus Veracruz que permitieron llevar a término el postgrado.
- Al Dr. Numa Pompilio Castro González de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por el apoyo en este trabajo de investigación y amistad brindada.

CONTENIDO

	Página
I.INTRODUCCIÓN.....	1
II.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	3
2.1. Preguntas de investigación.....	6
2.2. Hipótesis.....	6
2.3. Objetivos.....	7
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	9
3.1. Desarrollo, teorías y desarrollo sustentable.....	9
3.1.1. Desarrollo.....	9
3.2. Desarrollo sustentable.....	10
3.3. Sustentabilidad y dimensiones de la sustentabilidad.....	11
3.3.1 Dimensión ambiental.....	13
3.3.2 Dimensión social.....	15
3.3.3 Dimensión económica.....	17
3.4. Indicadores y medición de la sustentabilidad.....	19
3.4.1. Medición de la sustentabilidad.....	20
IV. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	23
4.1. Pensamiento sistémico.....	23
4.2. Áreas del pensamiento sistémico.....	25
4.2.1 La cibernética.....	25
4.2.2 Sistemas agroalimentarios adaptativos.....	27
4.2.3 Sistemas adaptativos y tecnología.....	27
4.3 Sistemas complejos.....	28
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
5.1 Localización.....	33
5.2 Selección de indicadores.....	34
5.3 Medición de los indicadores en las unidades de producción.....	36
5.4 Indicadores evaluados.....	38
5.5 Análisis de indicadores y simplificación de variables.....	49
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	50

6.1 Selección de indicadores.....	50
6.2 Jerarquización de indicadores por grupo de interés.....	50
6.3 Selección definitiva de indicadores.....	53
6.4 Medición de los indicadores en las unidades de producción.....	55
6.4.1 Determinación de biomasa y carga animal.....	55
6.4.2 Determinación de riqueza, equidad y diversidad de especies.....	58
6.4.3 Materia orgánica y erosión.....	67
6.4.4 Determinación de calidad de agua.....	69
6.4.5 Determinación de pobreza alimentaria.....	73
6.4.6 Determinación de nivel de alfabetización.....	80
6.4.7 Determinación de ingresos familiares.....	81
6.4.8 Tasa de gestación.....	82
6.4.9 Buenas prácticas ganaderas.....	83
6.4.10 Relación costo-beneficio.....	84
6.4.11 Costos de producción por litro de leche.....	85
6.4.12 Eficiencia de producción.....	86
6.4.13 Eficiencia técnica.....	87
6.4.14 Litros de leche producidos por hectárea.....	88
6.5 Análisis de indicadores.....	88
6.6. Simplificación de variables.....	89
VII. CONCLUSIONES.....	97
VIII. LITERATURA CITADA	100

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Revisión de literatura sobre indicadores más utilizados y seleccionados para su estudio	34
Cuadro 2. Nivel de pérdida de suelo.....	42
Cuadro 3. Tecnologías evaluadas en las unidades de producción.....	46
Cuadro 4. Indicadores por dimensión, valores asignados por grupo de interés y su desviación estándar.....	52
Cuadro 5. Promedio por grupo y ponderación equitativa final por indicador.....	53
Cuadro 6. Batería de indicadores mejor calificados por dimensión.....	55
Cuadro 7. Especies identificadas en las unidades de producción e indicadoras de sobrepastoreo según fichas informativas de CONABIO.....	58
Cuadro 8. Cuadro 8. Especies identificadas en las unidades de producción por familia y tipo	60
Cuadro 9. Especies arbóreas identificadas en las unidades de producción por comunidad.....	62
Cuadro 10. Usos de las arvenses según manuales de malezas y CONABIO y su uso local	63
Cuadro 11. Alimentos energéticos y legumbres consumidas por jefe de familia a la semana.....	76
Cuadro 12. Frutas consumidas por jefe de familia en las unidades de producción.....	77
Cuadro 13. Consumo de proteínas de origen vegetal en la unidad de producción por semana.....	78
Cuadro 14. Correlación de Pearson de los indicadores y variables evaluadas en las unidades de producción.....	91
Cuadro 15. Índice de similaridad de Jaccard de los indicadores y variables evaluadas en las unidades de producción	94

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ubicación de las unidades de producción participantes en el trabajo de investigación	33
Figura 2. Clima de la zona de estudio.....	37
Figura 3. Uso de suelo en las unidades de producción analizadas.....	37
Figura 4. Esquema de la metodología usada para el muestreo de árboles, arbustos y pastos por pradera cultivada	39
Figura 5. Valores asignados a los indicadores por grupo de interés.....	52
Figura 6. Producción de materia seca (ton/ha).....	56
Figura 7. Capacidad de carga por unidad de producción.....	57
Figura 8. Balance de materia seca por unidad de producción.....	58
Figura 9. Riqueza de especies por unidad de producción.....	59
Figura 10. Equidad de especies por unidad de producción.....	66
Figura 11. Valores de diversidad (índice de Shannon-Wiener) en las unidades de producción pecuarias	67
Figura 12. Valores de materia orgánica encontrados en las unidades de producción.....	68
Figura 13. Estimación de erosión en las unidades de producción.....	69
Figura 14. Cantidad de nitratos observados en las unidades de producción.....	70
Figura 15. Análisis de sales totales por unidad de producción.....	71
Figura 16. Presencia de coliformes fecales en pozos y ríos que proveen a las unidades de estudio	72
Figura 17. Cantidad de coliformes totales por unidad de producción.....	72
Figura 18. Consumo de carbohidratos por productor propietario (A), Consumo de proteínas (gramos/día) en las unidades de producción (B).....	74
Figura 19. Consumo de energía en kcal por manejador del sistema productivo.....	75
Figura 20. Consumo de carnes y mariscos por productor cooperante a la semana.....	79
Figura 21. Consumo de líquidos en cada una de las unidades de producción analizadas.....	80

Figura 22. Nivel de alfabetización de productores de ganado bovino.....	81
Figura 23. Ingresos familiares por unidad de producción bovina.....	82
Figura 24. Porcentaje de gestación en fincas ganaderas estudiadas.....	83
Figura 25. Valores de uso de tecnología en las unidades de producción.....	84
Figura 26. Relación beneficio-costo por unidad de producción bovino doble propósito.....	85
Figura 27. Costos de producción en unidades de producción bovinos doble propósito.....	86
Figura 28. Eficiencia técnica en litros de leche para alcanzar su nivel óptimo.....	87
Figura 29. Litros producidos por hectárea por cada unidad de producción.....	88
Figura 30. Árbol de variables según el índice de Similaridad de Jaccard.....	90

1. INTRODUCCIÓN

La actividad agropecuaria en México es de importancia socioeconómica pues es la principal fuente de ingresos de las familias (Jarquín et al., 2017), además de proporcionar alimento, materias primas, empleo y realizada en varias regiones agroecológicas del país (Martínez-González et al., 2017). De igual forma, la agricultura ofrece varias soluciones para aumentar la seguridad alimentaria, un desarrollo sostenible y una mejor gestión del medio ambiente (FAO y FIDA, 2012). Por lo anterior, es necesario considerar que las actividades agropecuarias cumplen diferentes funciones (ambientales, económicas y sociales) y contribuyen a conseguir la sustentabilidad en el desarrollo agrícola (FAO, 1999). En relación a la producción de bovinos doble propósito en México, esta actividad se desarrolla principalmente en regiones tropicales secas y húmedas que se caracteriza por producir leche y carne a base de forrajes (Bautista-Martínez et al., 2019). Es en estas regiones tropicales, donde se produce alrededor del 46% de la carne y un tercio de la leche del país (Martínez-Castro et al., 2015).

De acuerdo a Schramski et al. (2011), la agricultura sustentable es un extenso proceso de aprendizaje y desarrollo, donde cada pedazo de tierra cultivada presenta diferentes tasas de rendimiento de la cosecha y éstas son el resultado directo de conocimientos y experiencias de diferentes niveles. Según Müller (1996), la sustentabilidad puede medirse a nivel de finca y sus impactos a nivel regional; además de analizar sus opciones para su mejoramiento. Gerdessen y Pascucci (2013), señalan que el concepto de sustentabilidad debe ser adoptado desde una perspectiva multidisciplinaria, donde se reconoce la presencia de la dimensión económica, la dimensión social y la dimensión ambiental. Sarandón y Flores (2009) mencionan que dentro de la dimensión social se debe de considerar el ámbito cultural y la construcción de indicadores para cada una de las dimensiones. La implementación de indicadores permite determinar el camino que debe de tenerse en la dimensionalidad (Keirstead, 2007). Tellarini y Caporali (2000), aseguran que la búsqueda de indicadores de desempeño de los agroecosistemas es una tarea urgente a desarrollar porque facilita la comprensión en la toma de decisiones. Por lo anterior, y con el objetivo de identificar los indicadores pertinentes de manera participativa, que nos permitan evaluar la sustentabilidad

de las unidades de producción bovinos de doble propósito en estudios posteriores y su capacidad de determinarlos en campo, se plantea esta investigación.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La ganadería doble propósito es una de las actividades agropecuarias más diseminadas en el medio rural de las zonas tropicales de Latinoamérica, por su importancia en la producción de alimentos (Urdaneta, 2009). En el continente americano, de acuerdo con información de FAOSTAT (2015), la producción estimada de leche fresca de vaca durante el 2012 fue de 181,741,791 toneladas y 30,031,025 toneladas de carne, ocupando el primer y tercer lugar en la producción mundial, respectivamente. En México, cifras preliminares del 2017 sobre el ganado bovino doble propósito, señalan un inventario ganadero de 34,277,868 cabezas de las cuales, el estado de Veracruz aporta el 12.55 % (4,302,814 cabezas) cifra que ocupa el primer lugar (SIAP 2018a; 2018b). La ganadería en este estado representa una producción de 479,077.623 toneladas, un valor de la producción de 15,703,954.65 (SIAP, 2018c) y ocupa una superficie ganadera de 3,600,000 hectáreas (COTECOCA, 2014). Martínez et al. (2012), mencionan que los sistemas de producción de doble propósito en el estado se caracterizan por la flexibilidad de la función zootécnica al producir carne y leche para el mantenimiento del becerro; sin embargo, por las características agroecológicas del estado, existen diferentes tipos de unidades de producción. El INEGI (2007) menciona que en cuanto a alimentación existen cuatro sistemas de producción, el de libre pastoreo, en el cual, los animales se encuentran de manera continua en los potreros; el de pastoreo controlado con restricción de los pastos; el estabulado y el semiestabulado. Otros estudios como los de Vilaboa-Arroniz et al. (2009) y Oros et al. (2011) proponen una tipificación de los productores en: tradicionales, en transición y empresariales, los cuales son diferenciados por sus recursos productivos. Martínez y López (2011), señalan que la actividad ganadera atraviesa por diferentes problemáticas originadas por múltiples factores. En ellos se encuentran las sociales, inherentes a las características del productor; las ambientales causados por contingencias climatológicas; las económicas relacionadas con las características del mercado; los asociados con las políticas públicas que afectan a las unidades de producción y, por último, las tecnológicas, referentes a las actividades gerenciales que utilizan los productores en relación a técnicas, innovaciones tecnológicas y conocimientos. En cuanto a las problemáticas tecnológicas, el CTEE (2009) menciona los bajos rendimientos de leche por animal (161 litros/(animal*año)), la limitada tecnología utilizada en los sistemas de

producción, y las malas prácticas de manejo tales como la invasión de pastos como es *Hyparrhenia rufa*, que se encuentran en los agostaderos. Adicionalmente, se encuentra el manejo inadecuado de los pastos cultivados ocasionando sobrepastoreo (Lazos, 2001). En la dimensión política la poca participación del estado con apoyo de asistencia técnica a organizaciones de productores y la desarticulación con la agroindustria, provoca que se tenga que recurrir a la compra de materias primas del extranjero, incrementando los costos de producción (Arroyo, 1989). En lo económico, de acuerdo con información de la SAGARPA (2012), en los últimos años el crédito rural ha sido inexistente; esto limita a los productores en la adopción de nuevos métodos de producción y disposición de capital de trabajo para aumentar la productividad y la reconversión productiva. Asimismo, los productores que no cumplen con las exigencias de los mercados nacionales e internacionales corren el riesgo de desaparecer (Mancilla, 2015).

En lo ecológico, Lazos (2001) menciona que, tanto los pequeños productores ganaderos como los grandes, han deforestado considerables extensiones de tierras que, aunado al mal manejo de la carga animal con estancias de alrededor de 6 a 8 meses, provocan deslaves en los caminos a los abrevaderos, surcos de pisadas en los terrenos y pérdida de suelo en las pendientes de ladera. Con ello se provoca azolvamiento de ríos y manantiales, que aparte de reducir la fertilidad, propicia la erosión hídrica y el deterioro físico del suelo, pérdida de humedad y compactación del mismo (Salcedo y Guzmán, 2014).

En la dimensión social, Lazos (2001) señala que se tiene una escasa organización social para la utilización de las tierras de pastoreo y en especial para los productores medianos con superficies de 10 a 20 hectáreas de tierra, quienes trabajan solos y de forma independiente para hacer frente a los gastos. Sin embargo, este entretrejo social varía de acuerdo al grupo, comunidad y región. Por lo anterior, se considera que la ganadería se encuentra en riesgo, al disminuirse gradualmente los espacios para su realización, al ser menos productivos y no estar organizados. Por tanto, se considera que los sistemas de producción son sistemas complejos y multidimensionales, que para su medición y evitar su deterioro es necesario la incorporación de conceptos operativos. Uno de ellos es la sustentabilidad de los

agroecosistemas, que debe ser evaluada para que se permitan lograr las transformaciones socioeconómicas y ambientales requeridas en este tipo de sistemas (Castelán et al., 2014).

Bell y Morse (2008) mencionan que antes de evaluar a los sistemas de producción es necesario construir el propio concepto de sustentabilidad de acuerdo al enfoque de la investigación a realizar y la opinión de los interesados. Una de las formas de evaluar la sustentabilidad es a través de la elaboración de indicadores e índices de tipo económico, social, ecológico, tecnológico y cultural, ya sean a nivel local, regional o nacional. Existen alrededor de 500 indicadores a nivel mundial debido a la escala de análisis, las regiones y países en donde se llevan a cabo las mediciones (Kwatra et al. (2016), de Souza et al. (2016) y García et al. (2016)). Algunos autores consideran la evaluación de la sustentabilidad a partir de indicadores basados en energía incorporando las dimensiones socioeconómica y ecológica (Chong et al., 2016). Por ejemplo, Somogyi (2016) menciona que los estudios de sustentabilidad deben estar basados en la conservación de masa y energía con variables cuantitativas. De igual forma, Chong et al. (2016) y Phillips (2016) consideran que la sustentabilidad debe ser medida con modelos matemáticos y algoritmos que la cuantifiquen en sus tres pilares (ambiental, social y económico). Sin embargo, al hacer estudios con indicadores cuantitativos muchos indicadores de tipo social son difíciles de cuantificar por su naturaleza cualitativa, siendo necesaria la utilización de modelos sistémicos e integradores entre dimensiones que consideren todas las posibles interacciones (Dohnal y Kocmanova, 2016).

Por otra parte, Liu et al. (2016) sugieren que para una selección participativa de indicadores se requiere conocer al sistema involucrado, a los protagonistas y conocer su contribución al desarrollo sustentable, de igual forma Bélanger et al. (2012) señalan que, para evaluar la sustentabilidad, es importante involucrar a los productores en el proceso de selección de indicadores y el uso de expertos en diferentes etapas del proceso. Por su parte, Gutiérrez-Cedillo et al. (2015), O’Ryan y Pereira (2015), sugieren la incorporación de los habitantes y productores locales en el proceso de evaluación de indicadores para garantizar la pertinencia de los mismos, su seguimiento e involucrar a cada una de las partes participantes en el proceso. Por lo anterior, se propone la siguiente investigación que involucra la participación

de productores del sistema bovinos doble propósito y expertos en sustentabilidad en la selección de indicadores de sustentabilidad; así como la medición de los mismos en las unidades de producción con la finalidad de conocer y evaluar las acciones del tomador de decisiones en relación a los indicadores seleccionados.

Derivado de lo anterior surgen las siguientes preguntas de investigación:

2.1. Preguntas de investigación

- a) ¿La valoración de los indicadores de sustentabilidad es diferente por grupo de interés?
- b) ¿Es posible seleccionar de forma participativa indicadores que permitan evaluar la sustentabilidad de las unidades de producción bovinos doble propósito?
- c) ¿En qué estado se encuentran los recursos suelo, agua y la diversidad vegetal de las unidades productivas?
- d) ¿Cuál es el comportamiento de los indicadores económicos en el sistema de producción?
- e) ¿Los indicadores sociales influyen en el sistema de producción y en la toma de decisiones del sistema?

Expuesto lo anterior, se desglosan las siguientes hipótesis:

2.2. Hipótesis general y específicas

Hipótesis general:

- a) La selección participativa de indicadores de sustentabilidad por grupo de expertos y cooperantes permitirá determinar los indicadores más pertinentes para evaluar el sistema de producción bovinos doble propósito.

Hipótesis específicas:

- a) La selección de indicadores de sustentabilidad por grupo, permite conocer la valoración de cada uno de ellos y llegar a un consenso para la elección de los más pertinentes para ser determinados en el sistema bovinos doble propósito;
- b) Existe una degradación de los recursos naturales de la zona, evidenciada por la erosión del suelo y contaminación del agua que conducen a una pérdida de la biodiversidad natural;
- c) Los altos costos de producción originados por altos costos de insumos y de los medios de producción, aunados a los bajos ingresos derivados por el bajo nivel de producción y bajos precios de los productos (carne y leche) conducen a una baja eficiencia productiva y económica;
- d) Los productores con educación escolarizada no concluida, que no saben leer ni escribir y con bajos ingresos económicos se encuentran en pobreza alimentaria.
- e) Las deficientes prácticas de manejo ambiental, de control de enfermedades y parásitos, de manejo de praderas, forrajes y de alimentación influyen negativamente en el sistema de producción en los parámetros reproductivos; así como a la limitada eficiencia técnica de la unidad de producción.

2.3. Objetivos

Objetivo general:

- a) Seleccionar de manera participativa indicadores pertinentes de sustentabilidad por grupo de interés y su determinación a nivel unidad de producción.

Objetivos específicos:

- a) Seleccionar de manera participativa indicadores de sustentabilidad pertinentes a las unidades de producción de acuerdo a la valoración de los actores principales del sistema bovinos doble propósito y de expertos;

- b) Evaluar la tasa de erosión, diversidad vegetal y calidad del agua como indicadores del medio ambiente en donde se desarrollan los sistemas de producción;
- c) Estimar los costos de producción, eficiencia productiva y económica del sistema de producción;
- d) Calcular los indicadores de nivel de alfabetización, escolaridad y pobreza alimentaria del manejador del sistema e ingresos percibidos por el núcleo familiar;
- e) Evaluar la eficiencia técnica y las prácticas de manejo, medidas de control de enfermedades y sanitarias que se realizan en los sistemas de producción.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Desarrollo, teorías y desarrollo sustentable

Los temas considerados en este apartado son el concepto de desarrollo y la evolución de éste, abordado desde las teorías económicas tales como la teoría de la modernización y la teoría de la dependencia, las cuales fueron criticadas por fincar las bases del desarrollo desde el fomento del capital y la economía, con lo anterior, surgió el desarrollo sustentable el cual es descrito a continuación, además de sus supuestos, principios y dimensionalidad de la sustentabilidad.

3.1.1. Desarrollo

En sus inicios el concepto de desarrollo fue asociado al crecimiento y referida a un proceso que tiene como resultado la expansión de la unidad productiva; sin embargo, a principios de los noventa este concepto consideró beneficios no materiales avanzando a lo subjetivo, considerándolo como un concepto complejo, multidimensional, cualitativo, intangible y axiológico que para su entendimiento necesita de enfoques sistémicos y recursivos (Boisier, 2016). Si se entiende el desarrollo como un proceso y no como el fin, Ordóñez (2014) considera que la sociedad progresará hacia mejores condiciones de vida y bienestar.

Para analizar el desarrollo, en sus inicios se utilizó la economía del desarrollo, con la finalidad de entender este proceso, impulsar y acelerar el desarrollo en países del tercer mundo (Ordoñez, 2014). En este mismo sentido, Gutiérrez (2007) menciona que las teorías de desarrollo fueron derivadas de la teoría económica a partir de la segunda guerra mundial. Algunas de estas teorías analizadas fueron, la teoría de la modernización o teoría moderna del desarrollo, la cual establece que las sociedades modernas son más productivas y el desarrollo es considerado como sinónimo de formación de capital y el subdesarrollo es considerado como un problema de escasez de capital (Blomstrom y Bjorn, 1990). A la par de esta teoría, surgió la teoría de la dependencia, como resultado de investigaciones de la CEPAL, la cual se fundamenta en el desarrollo de la demanda interna, la importancia del

sector industrial, incremento de los ingresos y reforzamiento de la función gubernamental para mejorar las condiciones y aumentar los estándares de vida del país (Reyes, 2001). Desde entonces, el desarrollo se ha conceptualizado a partir de proveer las necesidades básicas del hombre con la finalidad de mejorar sus condiciones de vida (Ordoñez, 2014).

3.2. Desarrollo sustentable

El desarrollo sustentable se originó alrededor de los años setenta y surge como una alternativa a la teoría económica dominante, pues cuestionaba que el modelo de la industrialización y del desarrollo generaban degradación del medio ambiente, ecosistemas y biodiversidad. En los años noventa, por movimientos sociales, se empieza a considerar que el desarrollo sustentable debe poner especial atención en la participación y los procesos sociales. Con lo anterior, surgió una nueva propuesta que recomendaba integrar a la dimensión económica, la ecológica y la social (Gutiérrez, 2007). De acuerdo a la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (1987), el desarrollo sustentable está definido como el que permite satisfacer las necesidades de la presente generación sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas. En este sentido, el desarrollo sustentable está relacionado con la protección del medio ambiente considerando al mismo tiempo las desigualdades socioeconómicas y del subdesarrollo; así como los problemas inherentes a los modos de producción y de consumo (Schramm, 2015).

Los supuestos del desarrollo sustentable son:

- Es posible encontrar el equilibrio entre la eficiencia económica, equidad social y la sustentabilidad ecológica (Müller, 1996); de igual forma, Olmos y Santos (2013) consideran que es posible el desarrollo sustentable partiendo del desarrollo ecológico y social, permitiendo abordar varios problemas.
- El desarrollo sustentable representa la interconexión orgánica de tres campos de conocimiento (Humanidades y ciencias sociales, ciencias naturales y economía), los cuales no se encuentran lo suficientemente estudiados como para definir con precisión las relaciones que se dan entre ellos (Gutiérrez, 2007).

- Las transformaciones o adaptaciones que realiza el hombre en el ecosistema no dependen sólo de la conservación, sino también del aprender a transformar bien, integrando la cultura, las formas de organización socioeconómica y los símbolos que cohesionan a los sistemas sociales, para plantear estrategias encaminadas a un equilibrio en los que sea posible continuar la vida (García, 2011).
- El capital social es el sustento de las estrategias de desarrollo, ya que contribuye al fortalecimiento de las comunidades y a la potencialización de otras formas de capital (Loewy, 2008).
- El agroecosistema es considerado como el nivel básico donde se planea la sustentabilidad, en el cuál se establecen relaciones socioeconómicas y ambientales que transforman los individuos con fines de supervivencia (Castelán et al., 2014).

De acuerdo a Bell y Morse (2008) y Giraud (2015), los principios del desarrollo sustentable deben ser:

- ✓ Centrado en la visión sistémica como corriente filosófica y no en el reduccionismo.
- ✓ Considerar la escala de tiempo y espacio para el desarrollo de indicadores.
- ✓ Los indicadores desarrollados deben estar basados en mediciones estandarizadas.
- ✓ Partir de que los recursos naturales son insustituibles los cuales se deben usar eficientemente y conservar para el futuro.
- ✓ Uso de tecnologías sostenibles que aumenten el capital natural que tiendan a la desmaterialización del sistema económico.
- ✓ Los impactos de los procesos económicos, sociales, institucionales y ambientales tiendan a cero.

3.3. Sustentabilidad y dimensiones de la sustentabilidad

La sustentabilidad es considerada como un enfoque o como una propiedad emergente que surge de las interrelaciones; como enfoque la sustentabilidad orienta a los sistemas a convivir con su ambiente y como propiedad describe al sistema y lo ubica en un espacio y tiempo (Galdeano-Gómez et al., 2017). Una forma de estudiar la sustentabilidad es con una visión sistémica, desmenuzando los componentes y sus interrelaciones (Rodríguez, 2005). Quintana

et al. (2011) señalan que la sustentabilidad es la administración eficiente y racional de los recursos naturales para mejorar el bienestar de la población humana sin comprometer la calidad de vida de las generaciones futuras. Para Hay et al. (2014), la sustentabilidad es una habilidad de mejorar los sistemas, mantener sus actividades y alcanzar sus objetivos hacia el progreso. La sustentabilidad es multidimensional y comprende las dimensiones ambiental, económica y social (Dohnal y Kocmanova (2016); Poortinga y Darnton (2016)), mismas que son consideradas los tres pilares de la sustentabilidad. Sin embargo, Chong et al. (2016), señalan que además de las anteriores también se deben considerar las interdimensiones que son la eco-eficiencia, la socio-económica y la socio-ambiental. En este mismo sentido, Resat y Turkey (2015), sugieren la dimensión relacionada con la eficacia de los sistemas.

La sustentabilidad puede ser evaluada de acuerdo a un nivel jerárquico, es decir, a nivel de manejo de la tierra, a nivel sistema de cultivo, nivel unidad de producción y nivel regional o nacional (Zinck et al., 2005). Altieri et al. (1999) menciona que para describir a los sistemas evaluados es necesaria su conceptualización. Por otra parte, Poortinga y Darnton (2016); Resat y Turkey (2015) y Vega et al. (2015); mencionan que la sustentabilidad es un proceso adaptativo de toma de decisiones de gestión que permite un aprovechamiento racional de los recursos naturales, una distribución equitativa de los beneficios económicos y sociales, resultado de las actividades productivas y una protección de la diversidad natural y cultural de la región. Otros autores como Liu et al. (2016) mencionan que la sustentabilidad es un concepto difícil de comprender por no tener bien definido sus límites dentro del sistema y por la naturaleza multidimensional del concepto.

En relación a la sustentabilidad agrícola, Müller (1996) y Gliessman et al. (2007) la consideran como un enfoque integral y holístico hacia la producción de alimentos, fibras y forrajes que equilibra el bienestar ambiental, fomenta la equidad social y mejora la viabilidad económica entre todos los sectores de la sociedad a través de las generaciones. Para alcanzar el equilibrio deberá existir la eficiencia económica, la equidad social y la sostenibilidad ecológica. Ayala-Ortiz y García-Barrios (2009), consideran que la sustentabilidad agrícola se refiere a la capacidad del sistema para hacer frente a perturbaciones y cambios mayores en el transcurso del tiempo, regresar a su estabilidad original, hacer uso eficiente y múltiple

de los recursos naturales y tecnológicos disponibles para propiciar su conservación y uso sinérgico.

En cambio, la sustentabilidad ganadera permite que las fincas ganaderas controlen su impacto sobre los recursos naturales, logren una mayor articulación de las comunidades a nivel de los territorios ganaderos en la región y fortalezcan a los actores de la cadena de producción y distribución de los productos como leche, carne y otros subproductos (Sepúlveda et al., 2011).

Carrizosa (2006), Sarandón y Flores (2009) y Somogyi (2016), mencionan que existe la sustentabilidad débil y fuerte; siendo la débil donde se admite la posibilidad de sustituir al capital natural, bajo la suposición de que el agotamiento de las capacidades naturales puede ser compensado por la inversión en capital construido. De acuerdo a Giraud (2015), este tipo de sustentabilidad está fundamentado en la economía neoclásica; es decir, una visión antropocéntrica con la posibilidad del desarrollo y crecimiento, en donde el capital natural es cuantificable en términos monetarios. La sustentabilidad fuerte, por su parte, es aquella en donde no existe la posibilidad de sustituir parte de la naturaleza por elementos artificiales o fabricados por los seres humanos. Bell y Morse (2008) contradicen lo anterior, consideran que la sustentabilidad fuerte es similar a la sustentabilidad ecológica, donde lo primordial es el ambiente, y sus mediciones tenderán a ser físicas (población, erosión del suelo y biodiversidad). De igual forma Pfeiffer (2015), menciona que este tipo de sustentabilidad busca asegurar la supervivencia de especies no humanas y la protección de espacios.

Autores como Blancas et al. (2010), afirman que, para medir la sustentabilidad, ésta debe ser disgregada en sus dimensiones, identificando los aspectos que conforman cada dimensión y sus indicadores.

3.3.1. Dimensión ambiental

La sustentabilidad ambiental queda definida como el mantenimiento del capital natural que comprende las funciones y recursos de los ecosistemas (Thivierge et al., 2014). Es por ello

que, en la dimensión ambiental, el sistema de producción agrícola puede tener impactos positivos y negativos en los recursos renovables; por ejemplo, la agricultura extensiva permite el secuestro de carbono, mantenimiento del paisaje y producción de biomasa; por el contrario, la agricultura intensiva ha ocasionado la degradación del suelo, contaminación del agua, suelo, aire y pérdida de ecosistemas (Lewandowska-Czarnecka et al., 2019). La sustentabilidad ambiental o ecológica se centra en los aspectos biogeofísicos, la cual significa mantener o mejorar la integridad de la vida en los sistemas terrestres de soporte (Moldan et al., 2012). El sostenimiento de la biósfera con disposiciones adecuadas debe ser utilizado para maximizar las opciones de futuro incluyendo el aseguramiento de las generaciones actuales y futuras para mejorar su economía y desarrollo social en el marco de actividades culturales, diversidad biológica, integridad biogeoquímica, conservación y uso adecuado del aire, agua y recursos de la tierra (Moldan et al., 2012). Baraza y Estrella-Ruiz (2008), sugieren que los trabajos de investigación deben de tomar en consideración esta dimensión, dado que se debe tener especial cuidado en el uso de los recursos naturales que les permita a las personas y a las comunidades, desarrollarse de una forma sustentable que les permita lograr una gestión adecuada de los mismos a corto plazo. Somogyi (2016), sugiere que la sostenibilidad ambiental debe de tomar en consideración a la capacidad ambiental y las tasas de utilización, la dinámica temporal, ajustar la incertidumbre como sistema y un período de tiempo bien definido.

Los factores a evaluar en la dimensión ambiental son:

1. Agua: El agua es un recurso muy importante para garantizar la sustentabilidad de la producción agrícola (Jamalimoghaddam et al., 2019) y para las actividades humanas. El consumo de agua para el sector agrícola del mundo representa el 70% y ejerce presión sobre el agua subterránea, por lo que es importante su gestión (Kayatz et al., 2019).
2. Suelo: La erosión del suelo es el problema agrícola y ambiental número uno que amenaza la calidad y productividad de los recursos suelo y agua, especialmente en zonas de ladera (Hincapié y Salazar, 2011). También es importante considerar las expansiones de las tierras ganaderas, las cuales son las principales causas de la deforestación (Gallegos y Daim, 2017). De igual forma se necesitan realizar acciones encaminadas a determinar las cargas animales

correctas y la optimización de las tierras de pastoreo para evitar el sobrepastoreo y compactación. En este sentido, algunos autores como Herzog et al. (2018), consideran importante el pastoreo para mejorar la sustentabilidad de los sistemas ganaderos, permitiendo mejorar la salud y bienestar de los animales.

3. Biodiversidad: Al aumentar la biodiversidad en la granja se crea una oportunidad para cambiar la huella ambiental de la unidad de producción, mejorar la resiliencia de la granja hacia los principales eventos climáticos y proporciona la base para comunicar la procedencia de los productos de la granja con el consumidor (Kazemi et al., 2018). Iermanó y Sarandón, (2016) señalan, que los sistemas de producción familiar mixtos son importantes receptáculos de biodiversidad y agro biodiversidad que permite mejorar la sustentabilidad de las comunidades.

4. Disminuir la concentración de metano (CH_4): El uso de estiércol fresco en biodigestores disminuye la cantidad de CH_4 que se libera al ambiente, que a su vez disminuye el calentamiento global, el cambio climático y reduce la cantidad de energía utilizada de viviendas, permitiendo crear un sistema agrícola más sostenible (Purdy et al., 2018).

3.3.2. Dimensión social

En un principio esta dimensión era referida a satisfacer las necesidades y el bienestar del individuo, en la actualidad esta dimensión evalúa el desarrollo de comunidades, viviendas, incluye las cuestiones políticas, urbanas y de proyectos (Janker et al., 2019). La sustentabilidad social es referida a las acciones que realiza el hombre (Becerra, 1998); sin embargo, no sólo se deben tener en cuenta las acciones que tienen estos actores y la estructura de las interacciones, sino además el entorno donde interactúan y se relacionan entre sí (García-Valdecasas, 2014). Esta dimensión de la sustentabilidad de acuerdo a Toro-Mújica et al. (2011) apunta a la continua satisfacción de las necesidades humanas básicas como la alimentación y la vivienda, así como a otro tipo de necesidades tales como: educación, seguridad, empleo, ocio y equidad. Lo anterior sugiere que mucho de lo que hacemos con los recursos está supeditado a los valores, creencias e ideologías de los actores que controlan los recursos de la ciudad y espacio (Muñoz-Erickson, 2014). Chong et al. (2016), al respecto consideran que dentro de esta dimensión debe considerarse la participación social en las

acciones de sustentabilidad, incluyéndose los programas de concientización de los gobiernos locales, municipales o regionales. Sin embargo, algunos autores consideran que este concepto ha sido el menos desarrollado dado que es difícil de conceptualizar y operacionalizar (Roca-Puig, 2019).

Medir los indicadores sociales de manera cuantitativa es importante para la investigación dado que en la actualidad no hay consenso en las categorías de impacto social, hacen falta indicadores que contabilicen esta dimensión, y hace falta métodos que evalúen esta dimensión; por lo que para su evaluación es necesario definir el nivel de análisis y la búsqueda de parámetros para realizar las comparaciones (Popovic et al., 2018). En este mismo sentido, Janker et al. (2019) señalan que, aunque existen muchos indicadores de este tipo no están relacionados con la sustentabilidad social, tal es el caso de precios justos, comercio justo, condiciones comerciales transparentes y no con las necesidades y derechos de las personas en sociedad. Lo anterior, es reafirmado por Petit et al. (2018), quienes mencionan que los indicadores de esta dimensión son cualitativos, que están limitados en términos de posibles rangos de variación, valores y escala de tiempo en comparación con indicadores ambientales.

Los factores que intervienen en esta dimensión son:

1. Renovación generacional: En el campo social, los expertos mencionan que es de suma importancia que los productores se mantengan activos en sus unidades de producción y que exista la renovación generacional (Escribano et al., 2018).
2. Experiencia, educación, escolaridad y organización: En recientes estudios se ha documentado que la experiencia de los productores, el nivel de educación, la poca escolaridad y la mala organización, limitan o fomentan la adopción de tecnologías que son implementadas para mejorar la sustentabilidad de las unidades de producción (Paul et al., 2017). Por ello, es importante fomentar programas de educación y mencionar las ventajas de la organización en las comunidades para evitar que los sistemas sean vulnerables. Así mismo, Zaidi et al. (2018), consideran que para alcanzar la sustentabilidad es necesario educar y capacitar sobre ella.

3. Uso eficiente de los recursos productivos: Los recursos productivos (ganado, tierra, mano de obra y recursos económicos) y el conocimiento de los manejadores del sistema productivo, contribuyen a la sustentabilidad del sistema (Berre et al., 2014).

4. La adopción de tecnologías sustentables: Las tecnologías sustentables como el manejo de residuos, uso de cortinas rompe vientos, razas adaptadas al clima, cosecha de agua, manejo integrado de plagas, entre otras, son importantes para incrementar la sustentabilidad (Sarandón et al., 2006); pero para que estas sean adoptadas por los manejadores de los sistemas de producción, es necesario el apoyo del gobierno para su implementación (Yang et al., 2019).

3.3.3. Dimensión económica

La definición de sustentabilidad económica ha ido cambiando con el tiempo, pues en sus inicios contemplaba el capital natural, social, artificial y humano, en la actualidad se considera que esta dimensión solo debe ser valorada como tal y donde los recursos de la actualidad no deben reducir los recursos del futuro (Moldan et al., 2012). La dimensión económica de la sustentabilidad de acuerdo a Bautista et al. (2004), implica la producción a una rentabilidad razonable y estable a través del tiempo, lo cual hará atractivo continuar con dicho manejo. Briquel et al. (2001), consideran que esta dimensión es el resultado de la combinación de factores de producción, sus interacciones con el exterior y de las prácticas productivas realizadas y que los elementos para analizar esta dimensión son la viabilidad económica, la eficiencia productiva, independencia económica e independencia financiera. En este sentido la viabilidad económica está relacionada con la rentabilidad de las empresas y su relación beneficio-costos (Martínez y Cisneros, 2016). Para otros autores como Mofidi et al. (2018) la sustentabilidad económica es aquella que proporciona un ingreso generador y una estabilidad para los miembros sin la erosión de capital y recursos. Indicadores como la prosperidad económica y economía verde son indicadores que surgen a estas nuevas ideologías (Luukkanen et al., 2019). Indicadores como minimización de costos totales, costos operacionales, desempeño financiero son ejemplo de indicadores económicos cuantitativos, los cuales siguen siendo usados para evaluar eficiencia económica en cadenas de suministro aunados a otros de tipo ambiental como es la huella de emisiones; a decir de estos autores,

habrá mayor ganancia económica cuando exista reducción del impacto ambiental (Luukkanen et al., 2019). Toro-Mujica et al. (2011), señalan que la dimensión económica de la sustentabilidad está asociada principalmente a los beneficios percibidos a largo plazo por los productores y está definida como la cantidad máxima que un individuo puede consumir en un período determinado de tiempo sin reducir su consumo en un período futuro, además de generar ingresos económicos que garanticen a un sistema persistir en el tiempo (Chong et al., 2016).

Los factores a evaluarse en esta dimensión son:

1. Viabilidad económica y eficiencia: Ren et al. (2019) demostraron que las granjas más grandes son más eficientes en lo técnico, económico, laboral y ganancias netas, por lo que éstos autores consideran que la eficiencia económica está relacionada con estos factores; además, también encontraron que los productores con fincas más grandes son las que menos productos químicos usan, con lo que se aseguran una producción sostenible.

Por otra parte, Petit et al. (2018), mencionan que existen diferencias entre las tres dimensiones de la sustentabilidad en relación a la cantidad de los datos disponibles y las escalas de tiempo. Para el pilar ambiental existen datos que con herramientas tecnológicas producen valores, precisos, específicos y sensibles, de igual forma para los económicos existen datos disponibles; sin embargo, para lo social algunos datos no están disponibles, son caros, no son precisos y las métricas no son aptas para lo que se está estudiando.

En otra dimensión también se encuentran las políticas de gobierno, las cuales participan de manera activa al fomentar acciones dentro de los sistemas de producción, tal es el caso de proporcionar incentivos para el desmonte de tierras y la reforestación (Giday et al., 2018), impulsar la participación de los productores en campañas zoonosanitarias y subsidiar apoyos para la adquisición de razas mejoradas.

La dimensión institucional de la sustentabilidad es inherente a las instituciones, ya sean éstas formales e informales de la sociedad, las leyes, políticas, conocimiento y valores de la

sociedad (Schuschny y Soto, 2009). De acuerdo a Bell y Morse (2008), esta dimensión de sustentabilidad se refiere a la capacidad que deberían tener las instituciones para empoderar a los sujetos de apoyo no sólo en el ámbito financiero, sino también en la equidad de los beneficios y costos entre los distintos grupos sociales.

La dimensión tecnológica de la sustentabilidad considera a aquellas tecnologías e innovaciones que se usan, las cuales impactan a las dimensiones social, económica, ecológica e institucional; por tanto, pueden o no determinar la sustentabilidad, por lo que para alcanzar el desarrollo sostenible es necesario considerar estas tecnologías (Musango y Brent, 2011).

3.4. Indicadores y medición de la sustentabilidad

El concepto de desarrollo sustentable ha evolucionado con el tiempo y con ello la amplia gama de indicadores, los cuales han pasado de ser indicadores cualitativos a indicadores cuantitativos (Moldan et al., 2012). De acuerdo a la OCDE, un indicador es una variable cualitativa o cuantitativa que proporciona un medio simple y confiable para medir rendimientos, reflejar cambios con intervenciones o evaluar el desempeño de un factor de desarrollo (Saidani et al., 2019). Los indicadores deben ser medibles, cuantificables, representativos, transmisibles, coherentes al desarrollo y deberán poseer valores o umbrales de referencia para poder interpretar la sustentabilidad (Bátiz et al., 2016); (Chong et al., 2016); (Dohnal y Kocmanova, 2016). Así mismo, Huerta et al. (2014) consideran que, además, los indicadores deben ser fáciles y sencillos de promover en campo para el planteamiento de acciones específicas, dar una clara idea de todo el sistema en general y por dimensión; y a largo plazo denotar las acciones y decisiones humanas (Kwatra et al., 2016). Los indicadores pueden ser de presión cuando indican el efecto de prácticas (Sarandón y Flores, 2009) y la recuperación es lenta y algunas veces imposible de realizarse; los de estado presentan información actual y proporcionan información del estado de los recursos vulnerables ((Rossberg et al. (2017); Sarandón y Flores, (2009)); y los de respuesta es lo que se está haciendo por cambiar el estado actual (Sarandón y Flores, 2009). Para Luukkanen et al. (2019), la importancia de los indicadores radica “en la capacidad de estructurar, resumir y condensar lo complejo de la sustentabilidad en una cantidad de información significativa”. De acuerdo con Agol et al. (2014) al medir la sustentabilidad, es imposible evitar la

subjetividad en la autenticidad de los datos y en la evidencia de los impactos, aún si se recogen a partir de múltiples fuentes. Lo anterior, se debe a la conjunción de las dimensiones colocando a la sustentabilidad como un problema complejo. Por ello, es necesario tener en consideración el aplicar indicadores de sustentabilidad, que evalúan los impactos del desarrollo e impactos en el ambiente y la sociedad, debiendo ser seleccionados cuidadosamente involucrando a los protagonistas.

3.4.1. Medición de la sustentabilidad

Chong et al. (2016), propone una metodología, la cual se explica a continuación y puede ser modificada y aplicada a diferentes tipos de sistemas para la medición de la sustentabilidad, en la cual, los indicadores de sustentabilidad tienen tres principios, partiendo de que para evaluar la sustentabilidad se debe identificar un grupo de indicadores, mismos que se representan como variables u :

$$U(x) = \left\{ u^i \mid i = 1, \dots, I \right\} \quad (1)$$

Como U representa los muchos aspectos de la sustentabilidad de un sistema “ x ” usando diferentes escalas y unidades, esta metodología normaliza “ u ” a una escala de medición común “ s ”. Por lo que cada indicador “ u ”, de la ecuación anterior, corresponderá a la medición de la sustentabilidad de la variable “ s ”.

$$S(x) = \{ s^i \mid i = 1, \dots, I \} \quad (2)$$

Los principios de los indicadores de acuerdo a Chong et al. (2016) son:

1.- Existe un principio de sustentabilidad neutra para cada aspecto medido en un sistema; es decir, al medir la sustentabilidad existe un punto de inflexión en la cual no es sostenible ni insostenible. Por ejemplo, en la medición del secuestro del carbono si no existe efecto positivo ni negativo en el calentamiento global su valor será cero. Por tanto, cuando la sustentabilidad se encuentra en este punto neutro de inflexión al medirla, el sistema puede

ser o no sustentable de acuerdo con la dirección de esa inflexión. Este punto neutral dentro de una escala indicadora es conocido como constante “n”. La escala de medición de sustentabilidad “s” con respecto al punto neutro está definido como:

$$S(x): \left\{ \begin{array}{l} \text{Si } X > 0: \text{ El valor indica que existe sostenibilidad} \\ \text{Si } X = 0: \text{ El aspecto medido es neutro a la sustentabilidad} \\ \text{Si } X < 0: \text{ El valor indica que el aspecto medido es insostenible} \end{array} \right\}$$

2.- Existe un umbral de insustentabilidad para cada aspecto medido en el sistema.

Se supone que para cada aspecto medido hay un grado en el cual el sistema debe ser entendido como insostenible. Esto sugiere que, en un sistema, el nivel máximo puede ser tomado de referencias comunes, por ejemplo, referencias técnicas, políticas o teóricas. Éstos límites máximos en una escala indicadora “u” es denominada constante f . Ambos en la práctica y la teoría, pueden dar que $f \neq n$. En esta suposición, el nivel máximo $u^i(x) = f^i$ deberá ser mapeado de $s^i(x) = -1$ en el proceso de normalización. Lo anterior, debido a que -1 es el valor límite de insustentabilidad del sistema medido.

Basados en los principios uno y dos, la normalización de un sistema dado “u” puede ser realizado llevando a cabo la ecuación 3, en donde $f \neq n$.

$$S^i(x) = \frac{u^i - n^i}{n^i - f^i} \tag{3}$$

Dónde:

u= Indicadores seleccionados

x= Sistema a evaluar

U= Representa varios aspectos de la sustentabilidad del sistema usando diferentes escalas y unidades. En este formula se normaliza desde “u” hasta una escala “s” de medición común.

Por tanto, cada indicador “u” definido corresponderá a la medición de sustentabilidad de la variable “s”.

Basados en las ecuaciones 2 y 3 expuestas con anterioridad, la ecuación 4 puede ser aplicada para obtener las medidas de sustentabilidad de un sistema x de acuerdo a Chong et al (2016).

$$S(x) = \left\{ \frac{u^i - n^i}{n^i - f^i} \mid i = 1, \dots, I \right\} \quad (4)$$

3.- Un sistema es tan sostenible como el aspecto menos sostenible.

En general los indicadores compuestos de sustentabilidad son obtenidos a través de pesos y agregados de los indicadores seleccionados. Los resultados dependen de los pesos asignados y subjetivos basados en opiniones. Por si fuera poco, en la práctica la insostenibilidad de un sistema pudiera no deberse a la combinación de los pesos de algunos aspectos, sino más bien, a la primera limitante de insostenibilidad que el sistema encuentra. La metodología propuesta por Chong et al. (2016) se basa en el principio lógico de que el menor aspecto medido de la sustentabilidad (normalizado) de un sistema es la sustentabilidad efectiva de un sistema. En otras palabras, la sustentabilidad de un sistema x aquí denotado como $s^m(x)$ iguala la sustentabilidad del sistema x’s menos sustentable que el aspecto m^{th} , como se muestra a continuación en las ecuaciones 5 y 6:

$$S^m(X) = \min \left\{ S^i(x) \mid i = 1, \dots, I \right\} \quad (5)$$

$$m = \underset{i}{\operatorname{argmin}} \left\{ s^i(x) \mid i = 1, \dots, I \right\} \quad (6)$$

Con lo anterior, se puede calcular la sustentabilidad sin que los indicadores indiquen una sustentabilidad errónea debido a no considerar los umbrales y el punto neutro. Lo anterior, sugiere que un indicador de sustentabilidad no dice nada acerca de la sustentabilidad, a menos que una referencia técnica o teórica se le dé a dicho indicador.

4. MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL

4.1. Pensamiento sistémico

El concepto de pensamiento sistémico, se desarrolló a inicios del siglo XX en las ciencias físicas para tratar de explicar a los sistemas inestables, abiertos y no lineales que tienen retroalimentación y comportamiento caótico (Mingers y White, 2010). Así mismo, Williamson et al. (2015) mencionan que el pensamiento sistémico es necesario para comprender de una forma holística, las condiciones espaciales, temporales y fundamentales para avanzar hacia la sustentabilidad.

El pensamiento sistémico se refiere a un nuevo modo de ver, hacer, estar y de pensar a través del caos y la complejidad permitiéndonos reducir esas complejidades y lograr una simplicidad manejable que nos permite concentrarnos en los aspectos relevantes y dejar de lado la información irrelevante (Herrscher, 2013). Existen tres generaciones de cambio en este pensamiento, la de la primera generación trataba de la interdependencia en el contexto de los sistemas mecánicos (Herrscher, 2013). De acuerdo a Von Bertalanffy y Almela (1984) y Moreno (2002), un sistema es un conjunto de elementos en interacción, conceptos característicos de totalidades organizadas, tales como interacción, suma, mecanización, centralización, competencia y finalidad; sin embargo, al hacerse esto posible surgen un conjunto de condiciones más específicas denominados propiedades emergentes. La segunda generación la de la cibernética y los sistemas abiertos referidos a la interdependencia y la auto-organización en el contexto de los sistemas vivos y la de la tercera generación referidos a los sistemas con interdependencia, auto-organización y libertad de elección, en el contexto de los sistemas socio-culturales (Herrscher, 2013).

Los principios del pensamiento sistémico son:

- Apertura (estar abiertos). Un sistema abierto sólo puede ser entendido desde su contexto, con capacidad de auto-organizarse y crear orden a partir del caos;

- Intencionalidad (tener propósitos). El saber porque se toman las decisiones y por qué hace la gente determinadas acciones;
- Multidimensionalidad;
- Propiedades emergentes, como resultado de procesos continuos;
- Carácter contraintuitivo. Referido a las acciones a producir un determinado efecto puede generar resultados opuestos.

Finalmente, este pensamiento busca el desarrollo, visto desde una integración superior y diferenciación. Así mismo, es un proceso de aprendizaje en el cual el sistema incrementa su habilidad y deseo de servir a sus integrantes y a su contexto (Herrscher, 2013). Por otra parte, este pensamiento está muy ligado con la cibernética, la cual explica la regulación en los sistemas biológicos, económicos, técnicos o sociales a través de unidades elementales (Grün, 2005; Téllez, 2016).

El pensamiento sistémico en la agricultura permite capturar todos los elementos desde los actores hasta las instituciones (Janker et al., 2019), que tiene un propósito y proporciona un modelo de una nueva forma de pensar y en sistemas biológicos, estos modelos son utilizados como guías para el desarrollo sustentable para un sistema integrado (Gu et al., 2019). Trabajos como Martínez-León y Calvo-Amodio (2017) donde se utiliza el pensamiento sistémico asume, las siguientes preposiciones:

- a) La responsabilidad por la sustentabilidad no solo debe preocuparse por el uso eficiente de los recursos, sino también por la selección responsable de los recursos (minimizando el uso de recursos no renovables) y la gestión de residuos de los insumos suministrados;
- b) Las prácticas no deben ser adoptadas dogmáticamente ni implementadas de manera aislada. Es probable que un enfoque sistémico promueva el grado apropiado de flexibilidad necesaria para equilibrar las necesidades de consumo y las capacidades del proceso de provisión al tiempo que minimiza los efectos adversos en el medio ambiente;

- c) Es probable que se adopten con éxito las prácticas para la sustentabilidad cuando el activo humano es el punto focal de los cambios de mejora;
- d) En un contexto en el que la finalización de proyectos constituye el vehículo para adoptar un cambio, es más probable que ocurra la finalización exitosa de proyectos si los proyectos siguen un proceso estructurado de resolución de problemas dentro de un enfoque de gestión de proyectos.

4.2. Áreas del pensamiento sistémico

4.2.1. La cibernética

Para Siles (2007), la cibernética está definida como el estudio teórico de los procesos de comunicación de control de sistemas biológicos, mecánicos y artificiales y proviene de la voz griega *kybernetes*. La cibernética estudia la interpretación de los procesos, donde cada parte de éste debe ser considerado como un subsistema y el resultado de la interacción de las partes u componentes con procesos de retroalimentación con causalidad circular positiva o negativa (Rueda, 1995).

La cibernética desde los años cuarenta pretendió estudiar las relaciones de comunicación entre las personas y su medio; sus implicaciones en la sociedad, y le da importancia a la retroalimentación como un proceso de adaptación y regulación, donde se utiliza la información para definir, controlar y regular el comportamiento; así como aprender por medio de ella (Siles, 2007). De acuerdo a Mingers y White (2010) la cibernética fue considerada en sus inicios como una disciplina vista como un estudio y modelado para el entendimiento y control de cualquier sistema, por lo que esta disciplina estudia el flujo de información a través del sistema y cómo es utilizada esa información para controlarse a sí misma. La cibernética en sus inicios fue aplicada por Beer en 1979 para entender el número de estados posibles de un sistema, y fue uno de sus precursores, pues le interesaba utilizar este marco para identificar el número mínimo de opciones necesarias para resolver la incertidumbre en las organizaciones, de igual forma este mismo autor considera la

comunicación efectiva; es decir cuando un ente se comunica en mayor medida con otros se dice que tiene una mayor comunicación (Mingers y White, 2010).

Stafford Beer es reconocido como el primero en aplicar explícitamente los principios de cibernética para la gestión con la finalidad de hacer a los sistemas más eficientes y efectivos (Mingers y White, 2010). De igual forma estos sistemas pueden ser representados a través del modelado cuyas características son capaces de adaptarse y aprender, siendo sistemas viables (Mingers y White, 2010). Un sistema viable tiene las siguientes premisas, a) todo sistema tiene dinámica propia (auto-organización), el cual es vital para su supervivencia; b) el producto de un sistema complejo está determinado por procesos de retroalimentación y en la mayoría de los casos las entradas pueden ser irrelevantes; c) en un sistema con su regulador, la cantidad de su regulación estará limitada por el mismo (Rueda, 1995). De acuerdo a este mismo autor, para el análisis de estos sistemas se deben analizar todos los niveles recursivos, refiriéndose la recursividad cuando se desagrega de un nivel de complejidad a otro dentro de sí mismo. Por ejemplo, es posible descomponer oraciones en grupos sintácticos y establecer reglas de reformulación que al ser utilizadas en oraciones complejas causan recurrencia, tal es el caso de las frases nominales que puede contener una preposición y posiblemente otra frase nominal (Corballis, 2007).

Para otros autores como Li et al. (2019) la capacidad de adaptación de un sistema está determinada por compromiso de las partes interesadas en la sustentabilidad, del orden superior del sistema como las iniciativas gubernamentales en forma de políticas públicas y la presión del público y de los propios sistemas, en este caso sus operadores (desarrollo personal) dado que los comportamientos cotidianos de las personas constituyen un elemento base de la sustentabilidad. De acuerdo a Bates y Saint-Pierre (2018) los sistemas adaptativos complejos son diferentes a los sistemas equilibrados debido a que los primeros no se encuentran en equilibrio, considerando el equilibrio como un estado ideal y los segundos aquellos donde surgen comportamientos de nivel macro que influyen en las interacciones micro de los componentes del sistema.

4.2.2. Sistemas agroalimentarios adaptativos

Los sistemas agroalimentarios son sistemas adaptativos complejos, debido a que son sistemas que no se pueden prever ni predecir sus trayectorias exactas, ya que desarrollan características heterogéneas, la no linealidad y la auto-organización; sin embargo, estos sistemas comparten una dirección común, cualidades hacia donde se dirigen estos, denominados atractores, los cuales son elementos más estables y robustos de los sistemas adaptativos complejos (Kuhmonen, 2017). Ejemplo de lo anterior son los bosques en los cuales los procesos ecológicos y sociales interactúan con el tiempo para producir resultados adversos o favorables (Bone, 2016). Este mismo autor, señala que los sistemas agroalimentarios tienen un ciclo adaptativo de cuatro fases: uso, conservación, liberación y reorganización. La de uso referida a actividades de agricultura y ganadería, la de conservación cuando estos recursos se mantienen en un nivel deseado para su extracción máxima, la siguiente fase es la perturbación que resulta en vulnerabilidad para posteriormente reorganizarse y evolucionar.

Para Nyamekye et al. (2018), los productores también son sistemas adaptativos que deciden cómo actuar ante ciertas perturbaciones, como la falta de agua, gobernabilidad o sistemas de cultivo.

4.2.3. Sistemas adaptativos y tecnología

Iñigo y Albareda (2016), mencionan que los componentes a ser evaluados en los sistemas adaptativos en la adopción de una tecnología son: a) la operación referida a las entradas de material (herramientas, tecnologías, recursos), b) la organización derivada del uso de prácticas utilizadas (innovaciones) y si han funcionado y cómo se organizan para desarrollar innovaciones, c) colaborativo, relacionada a como se generan las innovaciones a partir de la participación, d) instrumental destinada a como son usados los medios para el logro de las metas (beneficios y costos) y e) holístico resultado de las interacciones de todos los componentes y su adaptación a niveles superiores en donde las interacciones de estos componentes forman nuevas formas adaptativas, que aprenden y generan nuevas estructuras,

reglas, comportamientos no lineales en sus diferentes niveles, caóticos y recursivos del sistema. Así mismo, Savaget et al. (2019) mencionan que al surgir nuevas tendencias tecnológicas empieza a surgir exploración hacia ellas a través de negociaciones, pero que es el mercado, las políticas y las leyes son las que guían las innovaciones, las soluciones y estrategias; además del conocimiento y las influencias culturales, de igual forma menciona que los sistemas socio técnicos son complejos enmarcados en procesos adaptativos, reflexivos y evolutivos. De igual forma, se debe de comprender lo que es el proceso sostenible, el producto sostenible y la innovación sostenible, y que todas son importantes para mejorar las prácticas de sustentabilidad de un sistema (Williams et al., 2017).

4.3. Sistemas complejos

De acuerdo a McCabe (1976), la complejidad consiste en conocer y medir las opciones para el logro de objetivos a través de la cuantificación de las mismas, las cuales al ser analizadas se elegirá aquellas rutas básicas que nos permitan la combinación de todas y que generen todas las opciones posibles. Para Kolmogorov la complejidad es la utilización de información que nos muestre aquella información contenida en una expresión numérica de manera sencilla que explique la naturaleza de los fenómenos. Permitiendo reducir la complejidad y realizar su descripción (Mihailović et al., 2017). Para H. Simon, un sistema complejo es un conjunto de partes que interactúan de una manera articulada en donde el todo es más que la suma de las partes. Al igual que el sistema simple un sistema complejo está compuesto por subsistemas y jerarquías. Para H. Simon un sistema jerárquico es un sistema compuesto que está relacionado con subsistemas; sin embargo, esta relación de jerarquía es diferente en los sistemas sociales y en los sistemas físicos y biológicos, los cuales pueden ser ejemplificadas con la intensidad de las interacciones. De igual forma este autor dice que los sistemas complejos resuelven los problemas, partiendo de la retroalimentación del entorno y la resolución de problemas a partir de la selectividad dividida en: consecuencia de elecciones y experiencia previa, mismos que una vez logrado el nivel deseado se autoreproducen o multiplican indefinidamente. Así mismo señala que si una estructura compleja es no redundante y no puede ser inferido por otro, entonces su descripción será la más simple (Simon, 1962).

En sistemas complejos, los comportamientos son no lineales, dado que no existe una clara correspondencia entre causa y efecto, ya que un cambio en la entrada del sistema no produce un cambio correspondiente en la salida (García, 2006). Estos tipos de sistemas tienen como característica un comportamiento impredecible considerando la situación o posición que puede alcanzar en un instante preciso. No obstante, dentro de ciertos límites, se puede conocer su comportamiento con un grado decreciente de certeza a medida que transcurre el tiempo (Ponce, 2009). Los sistemas complejos son sistemas abiertos con límites no bien definidos, realizan intercambios con el mundo externo y se caracterizan por su comportamiento dinámico (García, 2006).

De acuerdo a Tarride (1995) lo complejo es distinto de lo complicado, dado que un sistema complicado se puede simplificar para conocer su inteligibilidad, en tanto que para comprender un sistema complejo debe de modelizarse para conocer su inteligibilidad y en donde el pensamiento complejo tiende a la multidimensionalidad. Los sistemas complejos generalmente están compuestos de muchas partes, pero esto por sí solo no los califica como complejos: un gas ideal no es más complejo que un cerebro humano porque tiene más moléculas que la información. Comprender el significado es simplemente el acto de reemplazar una descripción detallada que contiene toda la información irrelevante y redundante por una descripción comprimida de los aspectos relevantes únicamente. De lo anterior se concluye que la complejidad en un sentido muy amplio siempre es una dificultad de una tarea significativa. Más precisamente, la complejidad de un patrón, una máquina, un algoritmo, etc., es la dificultad de la tarea más importante relacionada con él (Grassberger, 1986). Por otra parte, Maldonado y Gómez (2010) mencionan que en éste tipo de sistemas es imprescindible conocer el posible futuro de los fenómenos a través de la simulación y con apoyo de las ciencias computacionales. De acuerdo a este mismo autor, la complejidad es una propiedad de los sistemas, y que puede ser explicado a través de lo inteligible de los sistemas. Por otra parte, García (2006) considera que un sistema complejo es un recorte de la realidad conceptualizados como una totalidad organizada donde los elementos no pueden ser separados y no pueden ser estudiados de forma aislada.

Bonil et al. (2010), mencionan que los sistemas complejos tienen tres principios: el sistémico, el dialógico y el hologramático. El principio sistémico se refiere a las relaciones entre los elementos, sus vínculos en diferentes escalas y su carácter multifuncional. El principio dialógico es la integración de elementos antagónicos y no hay puntos equidistantes entre extremos; siendo estos los que explican su reciprocidad y dinámica. Para Freire (2016), un ejemplo de lo anterior es el ser humano, el cual es motivado por deseos a realizar acciones y a su vez reflejada en sentimientos (positivo-superación, negativo-frustración). Por su parte, el principio hologramático se refiere a la relación del todo con las partes y al sistema con sus componentes, en donde el todo está formado por las partes y de igual forma el todo está en las partes.

Los supuestos de los sistemas complejos de acuerdo a Belohlavek (2005) son:

- Son sistemas abiertos en los cuales la energía fluye hacia el mismo y a los subsistemas.
- Los límites de los subsistemas funcionan como conjuntos difusos.
- La funcionalidad de estos sistemas está determinada por la conjunción de elementos que se influyen entre sí generando bucles de causa-efecto.
- No existe separación en este tipo de sistemas.
- La suma de los resultados de los subsistemas no es el resultado del sistema complejo.
- Las relaciones entre sus subsistemas no son lineales pues obedecen a las leyes de la doble dialéctica (propósito – antítesis/ propósito – homeostasis).
- Los sistemas complejos generan su propia transformación de la energía a partir de la energía propia y de la que toman del medio.
- Los sistemas complejos están compuestos por subsistemas que a su vez están compuestos por otros subsistemas, hasta llegar a su nivel de descripción funcional.
- Los sistemas complejos no pueden ser observados desde el exterior. El observador es parte del sistema.

4.4. El concepto de agroecosistema

En sus inicios, el agroecosistema se contextualizó de acuerdo a la disciplina con la que se observó el objeto de estudio. Ejemplo de ello están los trabajos de Rotem et al. (2013), quienes muestrearon sitios con trampas ecológicas para reptiles para conocer la biodiversidad, o el trabajo de Durán et al. (2014), quienes consideran el impacto de la erosión y la escorrentía en laderas de montaña, así mismo el trabajo de Médiène et al. (2011) quienes hablaron de la importancia de las relaciones bióticas en los agroecosistemas. Estos trabajos reflejan la importancia de la biología en el agroecosistema y consideran al agroecosistema como un grupo interactivo de componentes bióticos y abióticos que bajo la supervisión del ser humano tienen el propósito de producir comida o fibra (Elliott y Cole, 1989). En este mismo sentido encontramos el concepto de Sarandón (2002), quien consideró que los agroecosistemas eran ecosistemas mantenidos a través de subsidios energéticos, en etapas tempranas de la sucesión para obtener altos niveles de productividad con un objetivo, un propósito y un responsable de su manejo que es el hombre.

Por otra parte, existen otros trabajos como los realizados por Zhu et al. (2012), quienes comenzaron con la incorporación de otras disciplinas tales como la social y la económica con la finalidad de evaluar la salud de los agroecosistemas y conceptualizando a este como un sistema ecológico, socioeconómico y de comunidades de plantas o de animales que interactúan con su ambiente físico o químico y que está siendo modificado para producir comida, fibra u otros productos. De igual forma, se incorpora el conocimiento tradicional de los agricultores de sistemas agroforestales para evaluar el suelo y las especies arbóreas (Pauli et al., 2012).

De acuerdo a Cruz et al. (2017), en sus inicios el agroecosistema era considerado como algo físico y biológico e integrado en la disciplina de la agroecología; sin embargo, al adoptar las dimensiones social y cultural del enfoque de los sistemas complejos se transforma este concepto a un modelo o recorte de la realidad, permitiendo ubicar este enfoque para comprender, interpretar y explicar este tipo de sistemas. Así mismo, García (2006) señala que los elementos económicos, sociales y ambientales no pueden ser separados ni ser

estudiados de manera aislada ni tampoco ser considerados como una simple adición de estudios sectoriales correspondiente a cada uno de los elementos.

Para esta investigación se consideró al agroecosistema como el espacio físico donde se realiza la actividad pecuaria, se produce leche, carne y queso y la toma de decisiones en cuanto a las tecnologías, manejo y uso de recursos de suelo, agua y diversidad son realizadas por el manejador del sistema productivo.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Localización

El estudio se realizó en las localidades de Ixcualco, La Esperanza, Infiernillo y Potrerillos, las cuatro en el municipio de Medellín de Bravo, en el centro del estado de Veracruz (Figura 1). La investigación consistió en tres etapas: a) Selección de indicadores apropiados al sistema de producción bovinos doble propósito, b) Medición de los indicadores en las unidades de producción, y c) Simplificación de variables.

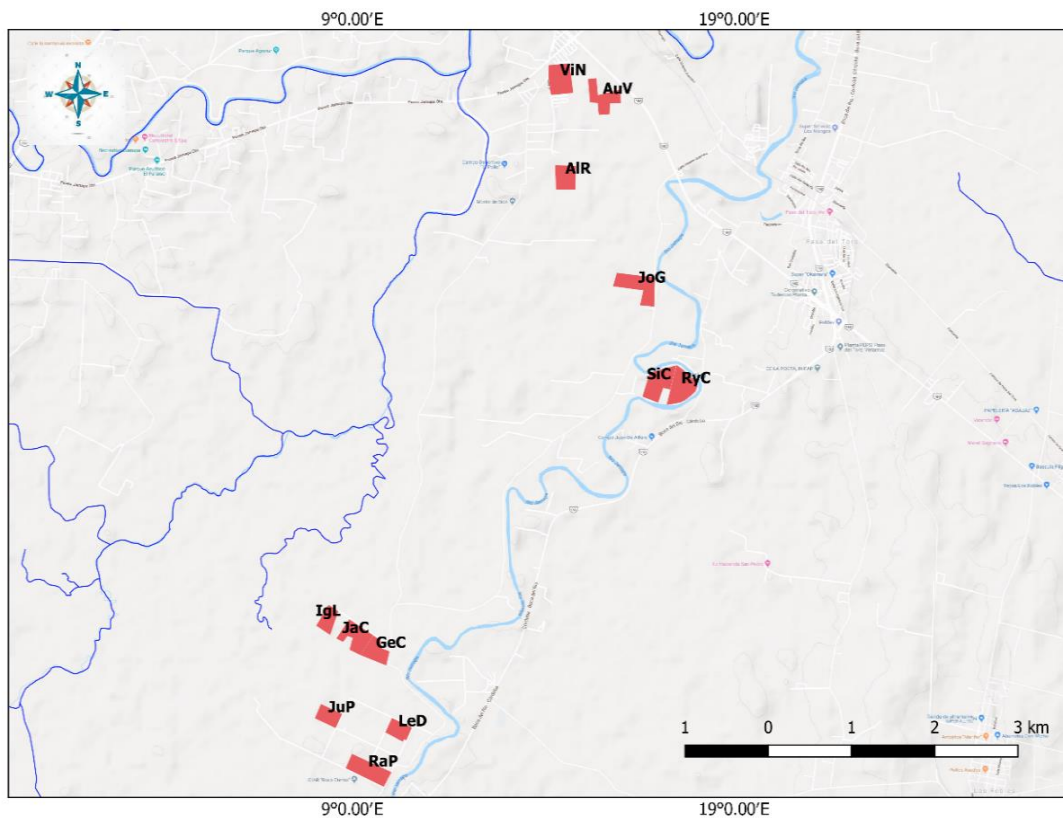


Figura 1. Ubicación de las unidades de producción participantes en el trabajo de investigación. Abreviaturas: AIR = Alberto Romero, AuV = Aurelio Villalbaz, GeC = Genaro Cale, Igl = Ignacio López, JaC = Jacinto Cobos, JoG = José Gómez, JuP = Julio Peña, LeD = Leonor Durán, RaP = Raúl Pérez, RyC = Raymundo Cobos, SiC = Simón Cobos, ViN = Vicente Negrete. Fuente: elaboración propia con información de la subcuenca hidrográfica RH28ba r. Atoyac y la subcuenca hidrográfica RH28bb r. (INEGI, 2005).

5.2. Selección de indicadores

Para la selección de indicadores se realizó una revisión de literatura de éstos a nivel nacional e internacional y se sensibilizó a los productores sobre los principios de la sustentabilidad e indicadores y la importancia de su medición en el sistema de producción. Lo anterior, con la finalidad de trabajar con ellos en los indicadores de mayor interés.

Se realizaron encuestas mediante cuestionarios a dos grupos: productores cooperantes y expertos con la finalidad de realizar una priorización de los indicadores.

Cuadro 1. Revisión de literatura sobre indicadores más utilizados y seleccionados para su estudio.

No	Dimensión	Indicador	Clave	Tipo de indicador	Autor
1	Ambiental	Contenido de materia orgánica	CMO	estado	Bélanger et al. (2012)
2	Ambiental	Rotación de cultivos	RC	presión	Bélanger et al. (2012)
3	Ambiental	Degradación de las tierras	DT	estado	Kwatra et al. (2016)
4	Ambiental	Cantidad de nutrientes del suelo	CNSU	estado	Dong et al. (2015)
5	Ambiental	Densidad aparente del suelo	DA	estado	Ferguson et al. (2013)
6	Ambiental	Conductividad eléctrica del suelo	CE	estado	Ferguson et al. (2013)
7	Ambiental	Erosión del suelo	ES	estado	Dong et al. (2015)
8	Ambiental	Calidad de agua	CA	estado	Hiremath et al. (2013); King, (2016); Kwatra et al. (2016); O'Ryan y Pereira (2015); OMS (2006); Toro et al. (2010); Yao et al. (2015)
9	Ambiental	Diversidad de especies	DE	estado	O'ryan y Pereira (2015), Hiremath et al. (2013)
10	Ambiental	Densidad y estabilidad de biomasa	DEDB	estado	Vugteveen et al. (2015)
11	Social	Alfabetización	ALFAB	estado	Kwatra et al. (2016)
12	Social	Pobreza	POB	estado	O'ryan y Pereira (2015), Kwatra et al. (2016)
13	Social	Desempleo	DESEM	estado	Yao et al. (2015)
14	Social	Desarrollo rural	DR	estado	Hiremath et al. (2013), Chong et al. (2016)
15	Social	Arraigo a las tierras ganaderas y agrícolas	ATG	estado	Kwatra et al. (2016)
16	Social	Inseguridad social	IS	estado	Tokman (2007)
17	Social	Ingresos familiares	IF	estado	O'ryan y Pereira (2015)

18	Social	Tasa de natalidad y mortalidad	TNYM	estado	Ferguson et al. (2013); Nahed-Toral et al. (2013)
19	Económica	Gastos netos	GN	estado-presión	Ferguson et al. (2013)
20	Económica	Generación de empleos	GE	estado	Kwatra et al. (2016), Chong et al. (2016)
21	Económica	Ingresos netos	IN	estado-presión	Ferguson et al. (2013)
22	Económica	Eficiencia de producción	EP	estado	Bodini et al. (2012), Vugteveen et al. (2015), Chong et al. (2016)
23	Económica	Costos de producción	CP	estado	Chong et al. (2016)
24	Económica	Relación costo/beneficio	RC/B	estado	Blandi et al. (2015)
25	Tecnológica	Eficiencia técnica	ET	estado	Chong et al. (2016); Yao et al. (2016)
26	Tecnológica	Buenas prácticas ganaderas	BPG	estado	Oros et al. (2011); Vélez et al. (2013)
27	Tecnológica	Tasa de gestación	TG	estado	Peniche-González et al. (2014)
28	Tecnológica	Intervalo entre partos	IP	estado	Peniche-González et al. (2014)
29	Tecnológica	Porcentaje de fertilidad	PF	estado	Magaña-Monforte et al. (2006)
30	Tecnológica	Duración de la lactancia	DL	estado	Magaña-Monfore et al. (2006)
31	Tecnológico-económica	Litros de leche producida/ha	LP	estado	Ferguson et al. (2013), (Nahed-Toral et al., 2013)
32	Tecnológico-ambiental	Carga animal	CA	estado e impacto	Oros et al. (2011); Nahed-Toral et al. (2013)
33	Socioeconómica	Precios justos por la venta de productos y subproductos del rancho	PJVP	estado	Nahed-Toral et al. (2013)

En esta revisión se encontró que la dimensión tecnológica concentró la mayor cantidad de indicadores. En trabajos anteriores, se menciona un total de 36 indicadores en esta dimensión, referidos principalmente a parámetros técnicos, reproductivos y a las prácticas realizadas por los productores. En la dimensión ambiental, se encontró un total de 31 indicadores agrupados en tres grandes grupos, los que evaluaron el suelo, el agua y aire. De estos, 16 indicadores describen el estado de los recursos de suelo, agua, especies vegetales, animales, plagas y aire; el resto incluye el cálculo de porcentajes, como uso del suelo, área boscosa, labranzas de conservación, entre otros. En la dimensión social, se ubicaron 25 indicadores, en su mayoría de carácter demográfico y porcentual. En la dimensión económica, se contabilizó un total de 22 indicadores utilizados, los cuales incluyen ingresos y egresos, costos de producción y energía por costo, entre otros. En la interdimensión socio-económica, sólo seis indicadores

fueron propuestos en trabajos anteriores. Mientras que en la interdimensión tecnológico-ambiental, al igual que en la tecnológico-económica, se ubicó un indicador para cada una de ellas. Se identificó un total de 122 indicadores; posteriormente, de éstos se preseleccionaron 33, en función a su factibilidad de evaluación y si generaban información relevante para la toma de decisiones de la unidad de producción. Lo anterior, con la finalidad de describirlos, justificarlos y proponerlos a los paneles de productores y expertos para la selección de indicadores.

5.3. Medición de los indicadores en las unidades de producción

Se realizaron muestreos de suelo, agua, biomasa y aplicación de encuestas en cada una de las unidades de producción participantes en la fase de recolección de datos. En relación con el clima, el predominante de la zona de estudio fue el tipo Aw_2 como se observa en la Figura 2. De acuerdo a la clasificación de Köppen el grupo A considera al clima cálido húmedo con temperatura media del mes más frío mayor de 18°C , y el subtipo w_2 , referido a los climas más húmedos de los subhúmedos con un cociente P/T mayor a 55.3 (INEGI, 2008). El tipo de uso del suelo encontrado en las unidades de producción fue el de agricultura de temporal anual, seguido del uso de suelo destinado a la agricultura de temporal anual permanente y por último el dedicado al pastizal cultivado permanente de acuerdo a la información reportada por el INEGI en el 2005 (Figura 3).

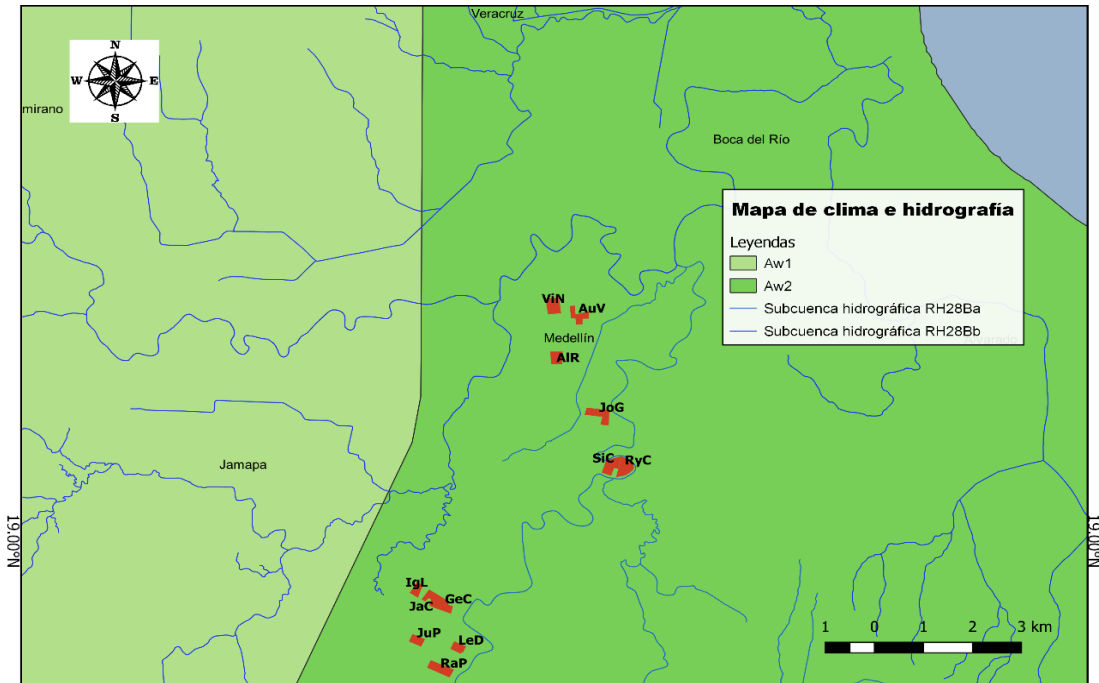


Figura 2. Clima de la zona de estudio. Fuente: elaboración propia con información de la subcuenca hidrográfica RH28ba r. Atoyac. Cuenca r. Jamapa y la subcuenca hidrográfica RH28bb r. Jamapa. Cuenca r. Jamapa y otros (INEGI, 2005).

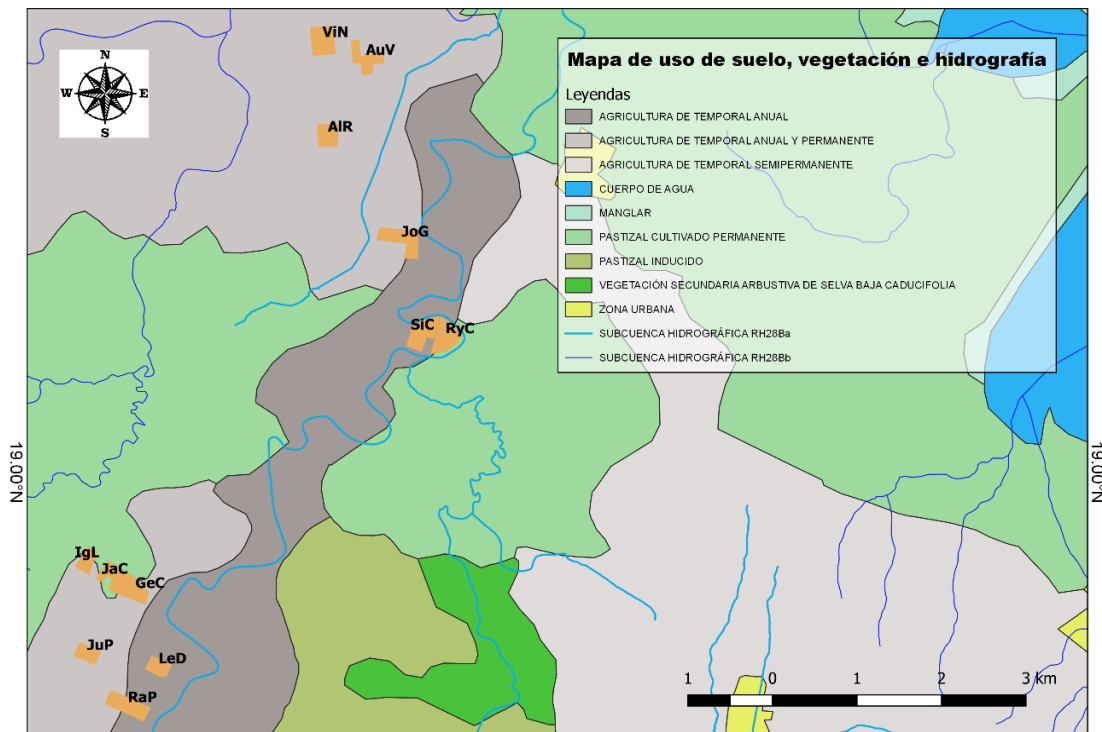


Figura 3. Uso de suelo en las unidades de producción analizadas. Fuente: elaboración propia con información de uso de suelo y vegetación, serie III del INEGI (INEGI, 2005).

5.4. Indicadores evaluados

5.4.1. Dimensión ambiental

Determinación de biomasa y carga animal. Se determinó la cantidad de forraje por especie de pasto establecido en cada unidad de producción. Se cortaron cinco muestras por pasto de forma aleatoria, iniciando en el centro de la unidad de producción y con apoyo de un marco de 50 x 50 cm (García, 2005). El muestreo se realizó en tres épocas del año: lluvias, nortes y secas. La época de lluvias comprendida de los meses de junio a octubre, nortes de los meses de noviembre a febrero y secas en los meses de marzo, abril y mayo. El forraje se cortó a una altura de 5 cm del suelo para simular el pastoreo que hacen los animales (Villalobos y Arce, 2013). Las muestras se pesaron en campo haciendo uso de una balanza de precisión (Flores, 2013), se enumeraron e identificaron por tipo de pasto y productor. Las muestras se conservaron en bolsas de papel y fueron colocadas en un lugar fresco y a la sombra (Herrera, 2007). Las muestras fueron deshidratadas en una estufa a 60 °C por 48 horas (García, 2005) en el laboratorio de forrajes del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. La cantidad de materia seca (MS) por muestra se determinó con el cociente del peso fresco y del peso seco de las muestras procesadas. Una vez conocida la biomasa se determinó la capacidad de carga que tienen las unidades de producción con la finalidad de conocer si existía o no sobrepastoreo (balance de materia seca) en función a la carga instantánea declarada.

Determinación de la diversidad de especies vegetales. De acuerdo con Villareal et al. (2006), la biodiversidad es la variabilidad de organismos vivos de cualquier tipo. El número de especies o diversidad se refiere a un nivel local y refleja la coexistencia de las especies en una comunidad. Así, para determinar la diversidad de árboles, arbustos y herbáceas de las unidades de producción se utilizó la metodología de Lozano-Zambrano (2009), con algunas modificaciones. Se realizaron transectos de 4 x 50 m en cada una de las unidades de producción y por pradera cultivada para la caracterización de los árboles; transectos de 50 x 1 m para arbustos y cinco parcelas de 1 m², separadas entre sí por 9 m para herbáceas sobre el mismo transecto principal (Figura 4).

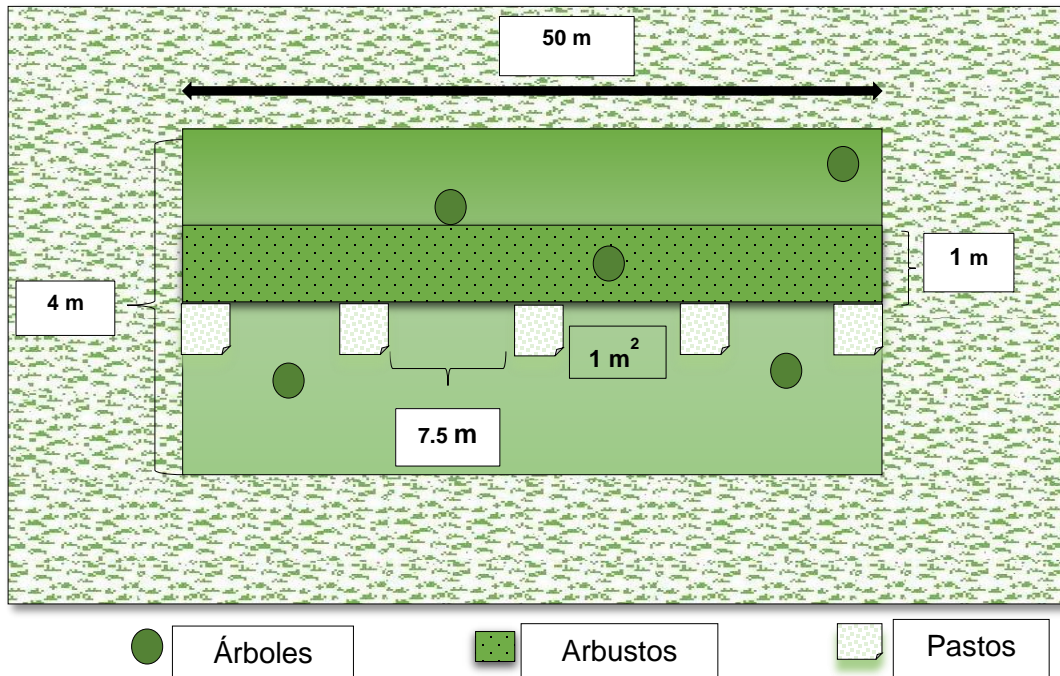


Figura 4. Esquema de la metodología usada para el muestreo de árboles, arbustos y pastos por pradera cultivada.

Para cada especie, se registró el número de individuos en el transecto, en hojas de campo elaboradas para tal fin. En caso de encontrarse con especies desconocidas, se tomó una muestra botánica y fotografías para su identificación, para posteriormente ser identificadas a partir de manuales de malezas y forrajes. En este caso, cada ejemplar recibió una numeración consecutiva y las muestras fueron deshidratadas en estufa de aire forzado a 60 °C en el laboratorio de forrajes del Colegio de Postgraduados, hasta lograr un peso constante de acuerdo a lo propuesto por García (2005). Se consideró como árbol todo individuo que tuvo un diámetro a la altura del pecho superior o igual a 5 cm; mientras que arbusto todo aquel individuo leñoso con diámetro entre 0.5 y 2.5 cm medido a 50 cm del suelo y crecimiento secundario en sus tallos (leñoso) (Lozano-Zambrano, 2009). La información fue capturada en una base de datos de Excel, para posteriormente determinar los índices de diversidad, la riqueza, equidad, dominancia y el índice de Shannon-Wiener. El índice de Shannon-Wiener expresa la uniformidad de los valores de las especies muestreadas que adquiere valores de cero a cinco (Flores, 2019). Posteriormente, ya identificadas las especies arvenses se entrevistó a los productores para recabar los usos locales de éstas.

Determinación de indicadores en suelo, materia orgánica y erosión. Se recolectaron 10 submuestras de suelo para posteriormente en una bandeja de plástico homogeneizar con ayuda de una pala las submuestras, con la finalidad de obtener una mezcla compuesta con un peso de 1 kg tal como se recomienda para muestreo, análisis y estudio de suelo de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM 021-SEMARNAT-2000 publicada en el Diario Oficial en el año 2002. Para ubicar los sitios de muestreo se utilizó el muestreo en zig zag, a lo largo de una línea dentro de la unidad de muestreo. El muestreo se realizó a una profundidad de 10 cm (DOF, 2002). La información que se recabó fue el nombre del productor, identificación del lugar donde fue colectada la muestra, identificación de la muestra y fecha de colecta de la muestra. Una vez obtenido el total de las muestras compuestas éstas fueron puestas en bolsas de plástico y debidamente identificadas para posteriormente ser llevadas al Campo Experimental Cotaxtla de INIFAP para la determinación de materia orgánica y nutrientes.

La erosión hídrica fue determinada con el modelo basado en relaciones significativas denominado Ecuación Universal de la Pérdida de suelo, el cual considera que el proceso de erosión es el resultado de la interacción de factores naturales y antropogénicos (Melchor-Marroquín y Chagoya-Fuentes, 2016). Los datos de campo utilizados fueron identificados y localizados con apoyo del GPS modelo Garmin para posteriormente utilizar en gabinete el programa ArGIS 10.3.

La ecuación universal de la pérdida de suelo utilizada fue:

$$A = R * K * LS * C * P$$

Dónde:

A = Promedio anual de pérdida de suelo por hectárea expresado en ton / ha/ año

R = Factor de erosividad de la lluvia en MJ * mm / ha / hora

K = Factor de erosionabilidad del suelo

LS= Factor topográfico

C= Cobertura y factor de gestión

P= Factor de prácticas mecánicas en el manejo de la vegetación agrícola, es adimensional.

El factor R fue determinado a partir de los promedios de la precipitación del año 1971 al 2010 usándose la precipitación normal (CONAGUA, 2014).

Los valores k representan las constantes de condiciones standard de vegetación natural, uso de la tierra, textura y explotación, su estandarización usada para el procedimiento de la formula universal fue igual a 1, conforme al método propuesto por la FAO (1980) el cual sólo requiere conocer la unidad del uso de suelo y su textura, factorizando el riesgo que se presentarla en condiciones adversas o de mala explotación, y por tanto el resultado queda en función del comportamiento de los demás parámetros (Larios y Hernández, 1993). Mismos parámetros que fueron corregidos por Figueroa (1991).

El factor topográfico de la pendiente LS incluye el factor de longitud de la pendiente (L) y el factor de inclinación o grado de la pendiente (S) (Melchor-Marroquín y Chagoya-Fuentes, 2016) expresado en porcentaje. A medida que el valor de estos factores aumenta, la pérdida de suelo es mayor. La longitud (L) se define como la distancia horizontal entre los puntos donde inicia el escurrimiento hasta aquel donde decrece la pendiente y ocurre la sedimentación. El factor (S) representa el efecto de la inclinación en la erosión, ya que la pérdida de suelo se incrementa con pendientes escarpadas (Foster et al., 1977).

El procedimiento se expone como sigue:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^m$$

L= Longitud de la pendiente

λ = Es la longitud de la pendiente en metros.

m = Es un exponente calculado con la modificación realizada por Foster et al. (1977).

$$m = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

Dónde: β = Angulo medio de la pendiente.

El factor inclinación de la pendiente (S), se calculó con las siguientes ecuaciones:

$$S = 10.8 \text{ Sen } \theta + 0.03, \text{ para } S < 9\%$$

$$S = 16.8 \text{ Sen } \theta - 0.50, \text{ si } S \geq 9\%$$

Cobertura y factor de gestión (C). Este factor mide el efecto combinado de las variables de cobertura y la gestión (Delgado, 2018). Expresa la capacidad de amortiguar el efecto de desprendimiento del suelo por la lluvia e impedir su arrastre con escurrimientos superficiales (Melchor-Marroquín y Chagoya-Fuentes, 2016).

Factor de práctica de apoyo (P). Este factor se refiere a las prácticas conservacionistas específicas (Gaitan et al., 2017). Estas prácticas afectan la erosión al modificar el patrón de flujo, la dirección, la cantidad y la tasa de escorrentía (Delgado, 2018).

Los cinco factores se multiplicaron para obtener la pérdida anual de suelo en ton//ha (Delgado, 2018). El nivel de pérdida de suelo se determinó de acuerdo a los valores propuestos por la FAO (1980), donde:

Cuadro 2. Nivel de pérdida de suelo.

Nivel	ton/ha/año
Nula	< 2
Ligera	2 a 10
Moderada	10 a 50
Alta	50 a 200
Muy alta	> 200

Fuente: FAO (1980).

Determinación de calidad de agua. De acuerdo a Cirelli et al. (2009) medir la calidad de agua es de suma importancia para la ganadería y para su medición regularmente se considera las propiedades fisicoquímicas, presencia de compuestos tóxicos, bacterias patógenas y exceso de minerales. Por lo anterior y con la finalidad de conocer el estado en que se encuentra este recurso, se tomaron muestras en los pozos y ríos que abastecen a la unidad de producción. Se determinaron la cantidad de coliformes fecales y coliformes totales por unidad de

producción. Para el análisis de las muestras se recogieron muestras por cada pozo o río presente. Para la recolección de agua de pozo se sumergió alrededor de tres veces el recipiente colector debidamente esterilizado a una profundidad intermedia. Posteriormente, se filtró con apoyo de una malla para quitar restos de basura y hojarasca a un vaso de precipitado esterilizado para el posterior llenado de muestras por triplicado en envases recolectores de 125 ml. Los envases fueron numerados, identificados y puestos en bolsas herméticas resellables y colocadas en contenedores térmicos para agua con hielo para evitar su calentamiento. Las muestras fueron llevadas al laboratorio de la Facultad de Ingeniería Agrohídrica de la Universidad Autónoma de Puebla para el análisis de coliformes fecales y coliformes totales.

De igual forma se realizó análisis para determinar sales totales y nitratos, debido a que éstos parámetros destacan; pues la mayoría de ellos proviene de la actividad agrícola (Valenzuela et al., 2012). Las muestras fueron tomadas de manera similar que la del análisis de coliformes; sin embargo, se extrajo alrededor de un litro de agua y fue vertida en envases de plástico, enumerados, identificados y sellados en bolsas de plástico para su posterior análisis. Las muestras fueron puestas en contenedores con agua y hielo para mantenerlas a una temperatura entre 5 y 10 °C. El análisis correspondiente fue realizado en el laboratorio de aguas del Instituto Tecnológico de Boca del Río.

5.4.2. Dimensión social

Determinación de pobreza alimentaria. La pobreza alimentaria está definida como una situación de carencia que impide a las personas ser capaces de alcanzar su nivel de bienestar y está referido a las personas que no tienen los medios para alimentarse de manera adecuada (Díaz-González y Turner-Barragán, 2012). Los métodos más utilizados que miden la ingesta alimentaria son el registro diario de alimentos, el recordatorio de 24 horas y el cuestionario de frecuencia de ingesta alimentaria (Monsalve y González, 2011). El método más usado es el recordatorio de 24 horas o el del día anterior, el cual es realizado por medio de una entrevista y con ayuda de un formulario. Este método puede ser utilizado en gran parte de la población. En este estudio, para conocer el consumo de alimentos se utilizó el recordatorio

de 24 horas que consistió en determinar las necesidades básicas insatisfechas (Díaz-González y Tuner-Barragán, 2012). Se aplicaron 3 recordatorios de 24 horas durante la cuarta semana de mayo de 2018 a excepción del fin de semana, que de acuerdo a Shamah-Levy et al. (2003) recomienda realizarse de martes a sábado debido a que son los días representativos del consumo habitual de una persona. La información fue proporcionada por la o el responsable de la preparación de los alimentos en el hogar. Se consideró el consumo de alimentos dentro y fuera del hogar y se preguntó sobre la preparación de los alimentos en caso de ser desconocida. Se desglosaron todos los alimentos consumidos en cada comida, se registraron las porciones y cantidad de alimento consumido. Los alimentos fueron transformados a gramos para determinar la proteína, carbohidratos y grasas totales por alimento consumido; así como la energía en kilocalorías de acuerdo a las tablas de composición de alimentos de Centroamérica (INCAP et al., 2012) y tablas de uso práctico de los alimentos de mayor consumo (Muñoz, 2013). Se utilizaron las recomendaciones de ingestión dietética de acuerdo a las recomendaciones nutricionales por edad, sexo, actividad física, peso y talla por jefe de familia. Tal y como lo señala Fuster y Marín (2007), los requerimientos energéticos son definidos como la ingesta dietética de energía necesaria para mantener el equilibrio energético de un individuo adulto. También se realizaron cuestionarios de frecuencia alimentaria con la finalidad de conocer los alimentos consumidos (patrón alimentario) en la unidad de producción por grupo de alimentos.

Determinación de alfabetización. De acuerdo a Infante et al. (2013) la alfabetización es un proceso de aprendizaje que involucra las habilidades que son desarrolladas durante toda la vida de las personas y que se suscitan dentro y fuera del sistema escolar.

Para determinar este indicador se elaboró una lista de cotejo para conocer las habilidades de los productores evaluados, las habilidades analizadas fueron: si sabían leer y escribir, si sabían sumar, restar, realizar operaciones algebraicas y matemáticas, asignándose un punto por cada actividad realizada. El puntaje mayor fue de 10 por cada ítem analizado.

Determinación de ingresos familiares. Este indicador fue determinado a partir de los ingresos reportados por cada uno de los productores que controlan la unidad de producción, Se

consideraron los ingresos derivados de la venta de productos (leche, venta de ganado y subproductos), subsidios de programas como 60 y más, PROGRAM y los ingresos por otras actividades que desarrollan los controladores y los que generan los demás miembros de la familia.

5.4.3. Dimensión tecnológica

Determinación de la tasa de gestación. Se sabe que la eficiencia económica de la ganadería está influenciada por el comportamiento productivo y reproductivo del hato y éstos pueden ser aumentados mejorando la tasa de gestación y la producción de leche por vaca al año (Magaña-Monforte et al., 2018). La tasa de gestación fue determinada utilizando el número de animales preñados y el inventario total de vacas (Peniche-González et al., 2014).

Fórmula para determinar la tasa de gestación:

$$TG = \frac{Vp}{Vt} \times 100$$

Dónde:

TG = Tasa de gestación

Vp = Número de vacas preñadas

Vt = Inventario total de vacas

Determinación de buenas prácticas ganaderas. Se realizó una lista de cotejo con las tecnologías consideradas importantes que deben ser llevadas a cabo dentro de la unidad de producción.

Las tecnologías desarrolladas fueron separadas por tipo de manejo y descritas en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Tecnologías evaluadas en las unidades de producción.

Manejo ambiental	Manejo sanitario	Manejo de praderas y forrajes	Manejo de alimentación
Compostaje	Diagnóstico de mastitis	Control de arvenses	Suplementación energético-proteica
Captación de agua	Diagnóstico de Brucella y Tuberculosis	Control de plagas	Suplementación mineral
Uso de abono	Calendario de vacunación	Rotación de potreros	
Uso de cortinas rompe vientos	Desparasitación	Conservación de forraje	

Para determinar el índice de buenas prácticas por unidad de producción se realizó la siguiente operación:

$$BPT = \frac{Tup}{Tte} \times 10$$

Dónde:

BPT = Buenas prácticas tecnológicas

Tup = Tecnologías utilizadas por el productor

Tte = Total de tecnologías evaluadas

5.4.4. Dimensión económica

Determinación de indicadores económicos. Los indicadores económicos se determinaron utilizando cuestionarios aplicados a los productores participantes en el trabajo de investigación. La información que se preguntó se refirió a los rubros de ingresos por las ventas de ganado, venta de leche y subproductos, subsidios y apoyos a la actividad ganadera. De igual forma, se desglosaron los egresos generados por la actividad, mismos que fueron divididos en costos fijos y costos variables tal como lo señala Lopes et al. (2013). Los costos fijos son aquellos que son constantes en cierto período de tiempo y su comportamiento está ligado a variables distintas al volumen de producción. Por el contrario, los costos variables tienen una relación estrecha con el nivel de producción y su relación es casi lineal con el volumen de producción o servicios (Cuervo y Albeiro, 2013). Por lo anterior, en los costos

fijos se incluyeron la contratación de trabajadores permanentes, la mano de obra del productor con un pago de acuerdo al tiempo que éste destina a la actividad ganadera. Es decir, si el productor destina todo su tiempo a la actividad ganadera bovina se asignó un pago de \$ 200.00 por concepto de pago de jornal por día y si solo destina la mitad de tiempo a la actividad por depender de otra actividad económica se asignó un jornal de \$100.00 por día. También se incluyó el pago de cuotas anuales por pertenecer a la asociación ganadera local y gastos de arrendamiento por renta de terrenos. En los costos variables se incluyó el pago de trabajadores eventuales, la compra de ganado, compra insumos, vacunas y medicamento, el pago de veterinario, pago de energía eléctrica y mantenimiento de las instalaciones y equipos.

Relación beneficio-costo. La relación beneficio costo es la relación que se obtiene del valor actual de los beneficios dividido por el valor actual de costos, aquellas granjas mayores o iguales a 1 son las que presentan mayores beneficios (Guerra et al., 1995). La fórmula utilizada fue:

$$RBC = \frac{Vab}{Vac}$$

Dónde:

RBC = Relación beneficio-costo

Vab = Valor actual de los beneficios

Vac = Valor actualizado de los costos

Costos de producción. Los costos de producción por litro de leche fueron obtenidos con los costos totales y los litros totales producidos al año. Para lo anterior, se preguntó a los productores la producción promedio de leche por vaca por día y el tiempo que dura la lactancia.

$$CPL = \frac{Ct}{Ltp}$$

Dónde:

CPL = Costos de producción por litro de leche

Ct = Costos totales

Ltp = Litros totales de leche producidos

Eficiencia de producción. De acuerdo a Otta et al. (2016), la eficiencia productiva permite la utilización óptima de los recursos, haciendo que estos perduren en el tiempo sin degradarse alcanzando un mayor grado de sustentabilidad. De igual forma, la eficiencia productiva es un valor que permite saber si se está aprovechando al máximo los recursos que se tienen disponibles para el fin de la actividad productiva o si se está por debajo de las posibilidades (EAE Business, 2017). Por lo anterior, se evaluó la eficiencia productiva partiendo de los litros de leche que se producen en las unidades de producción estudiadas y de los costos de producción; así como de los promedios de ambos para ubicar que unidad es más eficiente en relación a las otras. La fórmula utilizada fue la propuesta por Francesc (2017) con algunas modificaciones:

$$EP = \frac{Lph \times Pcp}{Cpl \times Plp}$$

Dónde:

EP = Eficiencia productiva

Lph = Litros producidos por hectárea

Pcp = Promedio de costos de producción

Cpl = Costos de producción por litro de leche

Plp = Promedio de litros producidos

Francesc (2017), señala que si al analizar este indicador el resultado es menor a 1 se considera que la finca es ineficiente, si es igual a 1 es eficiente y si supera la unidad será muy eficiente.

Eficiencia técnica. La eficiencia técnica de las unidades productivas consiste en producir lo máximo posible a partir de unos insumos dados o bien a partir de un nivel de producto dado

y obtenerlo con la menor cantidad de insumos (Farrell, 1957). Para la determinación de esta variable se utilizó la fórmula propuesta por Hagen (2018), expresada en los términos siguientes:

$$ET = \frac{Cft}{Pvl - Cvl}$$

Dónde:

ET = Eficiencia técnica

Cft = Costos fijos totales

Pvl = Precio de venta de la leche

Cvl = Costos variables por litro de leche

Los costos fijos totales se calcularon a partir de la suma de los egresos por contratación de personal fijo que labora en la unidad. A estos gastos también se incluyó el pago por el uso de mano de obra familiar de acuerdo al porcentaje que ocupa la actividad en sus ingresos económicos, pago de impuestos y cuotas anuales; además de rentas por tierras arrendadas. Por otra parte, en los costos variables se incluyeron todos aquellos egresos que corresponden a los gastos de la producción, tales como: pago de mano de obra eventual, compra de ganado, costos de insumos, pago de energía eléctrica y desinfectantes.

El precio de venta de leche utilizado es el ingreso por litro de leche vendido para cada unidad de producción.

5.5. Análisis de indicadores y simplificación de variables

Para el análisis de los indicadores se realizó un análisis de correlación de Pearson con el paquete estadístico R versión 3.5. De igual forma, se realizó la simplificación de variables utilizando el Índice de similaridad de Jaccard con la finalidad de descartar las variables con información similar o redundante con el mismo paquete estadístico de uso libre.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Selección de indicadores

A partir de la revisión de literatura, se seleccionaron diez indicadores de la Dimensión ambiental, esto debido a la factibilidad de ser evaluados en las unidades de producción y a que proporcionan información relevante del suelo, agua y ambiente. En la Dimensión social se seleccionaron ocho indicadores, mismos que pudieran ser evaluados a través del controlador del sistema de producción. En la Dimensión económica, indicadores como costos de capital e inversión en capital reportados por Williamson et al. (2015), Mainali y Silveira (2015), se incluyen dentro de la evaluación económica del estudio. Dentro de la Dimensión tecnológica, indicadores como el uso de registros contables, uso de comederos, bebederos y de bienestar animal mencionados por Oros et al. (2011) y Nahed-Toral et al. (2013), son de gran importancia en la actividad productiva; sin embargo, para la presente investigación no aportan información de sustentabilidad en lo referido al sistema de producción. En este sentido, un estudio realizado por Fernández et al. (2017), mencionan sobre las contradicciones relacionadas al bienestar animal y si éste debe ser incluido en la sustentabilidad. Finalmente, se escogieron 33 indicadores (Cuadro 1) que se consideraron de importancia para la ganadería bovino doble propósito y que además permitieran determinar la sustentabilidad del sistema.

6.2. Jerarquización de indicadores por grupo de interés

Los indicadores percibidos como más relevantes para los productores a través de las encuestas fueron los concernientes al sistema de producción, como se muestra en la Figura 5. El indicador con mayor puntaje es la eficiencia en producción, lo que advierte la importancia que éste tiene para los productores, al igual que los costos de producción que esta actividad genera y las ganancias que ellos obtienen. Lo anterior, puede deberse al interés por conocer la contribución de estos indicadores a su actividad productiva y por la preocupación por mantener su rentabilidad. Así mismo, la información muestra la preocupación por cuestiones sociales, como la tasa de natalidad y defunción, los ingresos

percibidos por la familia, el desempleo y la importancia de la alfabetización en la ganadería. En contraste, los indicadores percibidos como menos relevantes fueron los referentes a la calidad del suelo, posiblemente porque los productores no están relacionados con los términos referidos o porque los productores consideran al suelo como un recurso seguro, y no perciben el riesgo de perderlo (Molina-Murillo et al., 2017). El indicador calificado con el puntaje más bajo fue la generación de empleos, posiblemente debido a que consideran que el sector agropecuario es la fuente principal de empleo en el medio rural; además, los productores trabajan por cuenta propia y los jornales contratados incrementan sus costos de producción (Martínez-Domínguez et al., 2018).

Los indicadores propuestos para el grupo de expertos (Figura 5), en su mayoría fueron percibidos como relevantes. Para Fernández et al. (2017), estos resultados son consistentes con lo obtenido con grupos de profesionistas, los cuales sugieren que la ganadería y sus insumos deben ser evaluados durante todo el proceso productivo. Los costos de producción fue el indicador de mayor puntaje. Lo anterior concuerda con el grupo de productores, al ser uno de los indicadores con mayor peso para ambos grupos; lo mismo sucedió con los ingresos familiares, la tasa de natalidad y mortalidad en la dimensión social. Otros indicadores de alto puntaje fueron alfabetización, desempleo e ingresos netos, lo cual fue consistente con el resultado del grupo de productores.

Como se muestra en el Cuadro 4, la dimensión con los mayores puntajes para los productores fue la dimensión tecnológica y la dimensión social, lo que contrasta con el grupo de expertos quienes consideraron más relevante la dimensión económica y la ambiental. Lo anterior muestra el valor que le dan los productores a las prácticas que realizan en las unidades de producción y su entorno social. Esto difiere con lo encontrado por Juárez-Barrientos et al. (2015), quienes mencionan que las prácticas comúnmente utilizadas por los productores son las relacionadas al manejo sanitario y a la suplementación, pero no cuidan las prácticas de manejo higiénico de la leche.

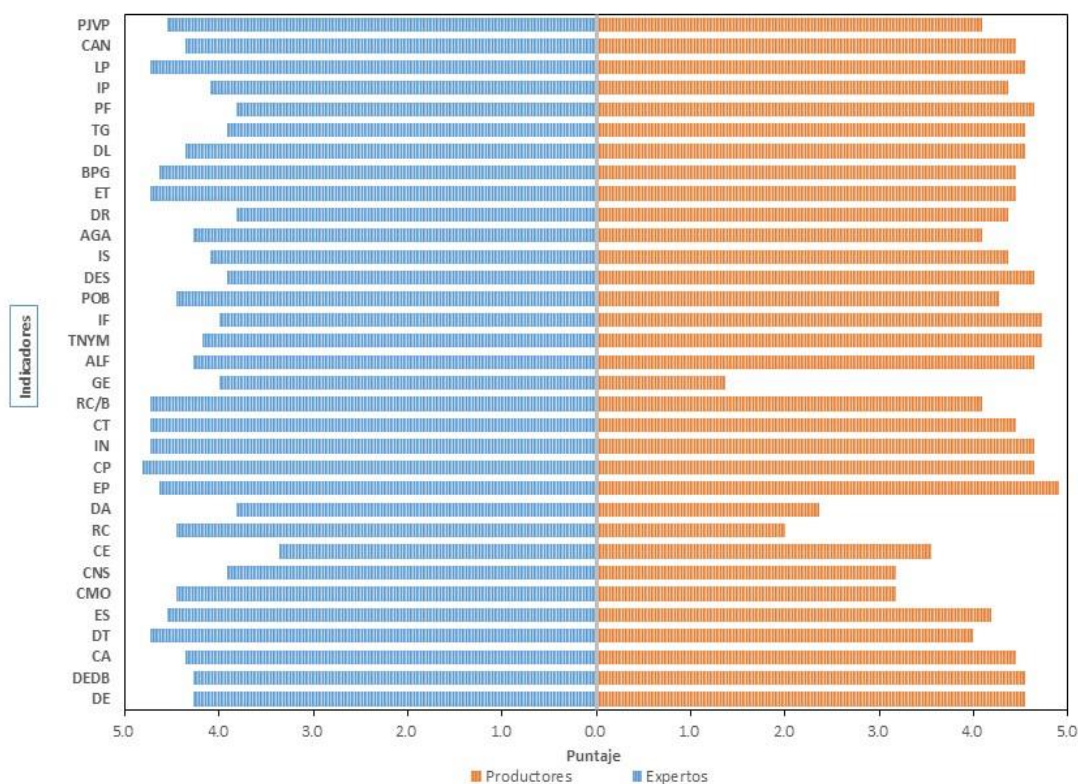


Figura 5. Valores asignados a los indicadores por grupo de interés. Fuente: elaboración propia con datos de la investigación realizada. Abreviaturas: PJVP = Precios justos de productos y subproductos; CAN = Carga animal; LP = Litros de leche producidos ha⁻¹; IP = Intervalo entre partos; PF = Porcentaje de fertilidad; TG = Tasa de gestación; DL = Duración de la lactancia; BPG = Buenas prácticas ganaderas; ET = Eficiencia técnica; DR = Desarrollo rural; AGA = Arraigo a la ganadería y Agricultura; IS = Inseguridad social; DES = Desempleo; POB = Pobreza; IF = Ingresos familiares; TNYM = Tasa de natalidad y mortalidad; ALF = Alfabetización; GE = Generación de empleo; RC/B = Relación costo/beneficio; CT = Costos totales; IN = Ingresos netos; CP = Costos de producción; EP = Eficiencia de producción; DA = Densidad aparente del suelo; RC = Rotación de cultivos; CE = Conductividad eléctrica del suelo; CNS = Cantidad de nutrientes del suelo; CMO = Contenido de materia orgánica; ES = Erosión del suelo; DT = Degradación de las tierras; CA = Calidad de agua; DEDB = Densidad y estabilidad de biomasa; DE = Diversidad de especies.

Cuadro 4. Indicadores por dimensión, valores asignados por grupo de interés y su desviación estándar.

Dimensión	Número de indicadores	Expertos	Productores cooperantes
Ambiental	10	4.218 ± 0.407	3.600 ± 0.910
Económico	6	4.606 ± 0.302	4.015 ± 1.327
Social	8	4.125 ± 0.211	4.477 ± 0.237
Tecnológica	6	4.258 ± 0.379	4.500 ± 0.095
Interdimensionales	3	4.545 ± 0.182	4.364 ± 0.241

6.3. Selección definitiva de indicadores

Una vez jerarquizados los indicadores en cada uno de los grupos (productores cooperantes y expertos) y por dimensión se procedió a asignar una ponderación equitativa (0.5) a ambos paneles para poder seleccionar los de mayor puntaje por dimensión (Cuadro 5).

En la Dimensión ambiental se seleccionaron sólo dos indicadores de los tres presentes con la misma ponderación de acuerdo a su factibilidad de ser determinados en campo, eligiéndose diversidad de especies y calidad de agua. Para el caso de degradación de la tierra y erosión se consideró este último para conocer el estado físico del suelo a partir de análisis de muestras de suelo. De acuerdo con Mutyasira et al. (2018), la falta de indicadores ambientales orientados a resultados tales como biodiversidad y la erosión de suelo conlleva al uso de indicadores que evalúan solo la minimización de los impactos negativos de las prácticas de los productores.

Los indicadores de costos totales e ingresos netos en la dimensión económica no fueron considerados explícitamente, debido a que están englobados en el indicador de relación costo-beneficio.

Cuadro 5. Promedio por grupo y ponderación equitativa final por indicador.

No	Dimensión	Indicador	Clave	Promedio combinado	Desviación estándar
1	Ambiental	Diversidad de especies	DE	4.409	0.193
2	Ambiental	Densidad y estabilidad de biomasa	DEDB	4.409	0.193
3	Ambiental	Calidad de agua	CA	4.409	0.064
4	Ambiental	Degradación de las tierras	DT	4.364	0.514
5	Ambiental	Erosión del suelo	ES	4.364	0.257
6	Ambiental	Contenido de materia orgánica	CMO	3.818	0.900
7	Ambiental	Cantidad de nutrientes del suelo	CNS	3.545	0.514
8	Ambiental	Conductividad eléctrica del suelo	CE	3.455	0.129
9	Ambiental	Rotación de cultivos	RC	3.227	1.736
10	Ambiental	Densidad aparente del suelo	DA	3.091	1.029
11	Económico	Eficiencia de producción	EP	4.773	0.193
12	Económico	Costos de producción	CP	4.727	0.129
13	Económico	Ingresos netos	IN	4.682	0.064

14	Económico	Costos totales	CT	4.591	0.193
15	Económico	Relación costo/beneficio	RC/B	4.409	0.450
16	Económico	Generación de empleos	GE	2.682	1.864
17	Social	Alfabetización	ALF	4.455	0.257
18	Social	Tasa de natalidad y mortalidad	TNYM	4.455	0.386
19	Social	Ingresos familiares	IF	4.364	0.514
20	Social	Pobreza	POB	4.364	0.129
21	Social	Desempleo	DES	4.273	0.514
22	Social	Inseguridad social	IS	4.227	0.193
23	Social	Arraigo a la ganadería y agricultura	AGA	4.182	0.129
24	Social	Desarrollo rural	DR	4.091	0.386
25	Tecnológica	Eficiencia técnica	ET	4.591	0.193
26	Tecnológica	Buenas prácticas ganaderas	BPG	4.545	0.129
27	Tecnológico	Duración de la lactancia	DL	4.455	0.129
28	Tecnológica	Tasa de gestación	TG	4.227	0.450
29	Tecnológica	Porcentaje de fertilidad	PF	4.227	0.579
30	Tecnológica	Intervalo entre partos	IP	4.227	0.193
31	Tecnológico-económica	Litros de leche producidos/ha	LP	4.636	0.129
32	Tecnológico-ambiental	Carga animal	CAN	4.409	0.064
33	Socioeconómico	Precios justos por venta de productos y subproductos del rancho	PJVP	4.318	0.321

En la Dimensión social se eligieron los indicadores de alfabetización e ingresos familiares y excluyendo el de tasa de natalidad, debido a que es de interés conocer las habilidades, nivel de lectura, escritura y cálculo numérico que tienen los productores que manejan las unidades de producción. De acuerdo a Infante et al. (2013), la alfabetización va más allá de los años de estudio y de la edad que tienen los participantes.

En relación al indicador de pobreza, se decidió hacerlo más operativo y medirlo a nivel de pobreza alimentaria por familia, debido a que la pobreza es una situación que impide a las personas alcanzar el nivel de bienestar mínimo (Díaz-González y Turner-Barragán, 2012). Como lo señala Olmos-Martínez (2013), la pobreza se considera en tres niveles: pobreza alimentaria, pobreza de capacidades y pobreza de patrimonio; siendo la pobreza alimentaria cuando las familias con ingresos insuficientes no cubren sus necesidades de alimentación. En la evaluación tecnológica se consideró que el indicador de tasa de gestación aporta más información del sistema de producción que la duración de la lactancia.

La batería final de indicadores fue definida a partir de cada dimensión a evaluar y con los puntajes más altos por dimensión, escogiendo tres indicadores por dimensión y dos más de las interdimensiones (Cuadro 6).

Cuadro 6. Batería de indicadores mejor calificados por dimensión.

Dimensión	Indicador	Promedio Combinado
Ambiental	Diversidad de especies	4.409
	Calidad de agua	4.409
	Erosión del suelo	4.364
Económica	Eficiencia de producción	4.773
	Costos de producción	4.727
	Relación costo-beneficio	4.409
Social	Alfabetización	4.455
	Pobreza alimentaria	4.364
Tecnológico-ambiental	Ingresos familiares	4.364
Tecnológico-económica	Carga animal	4.318
	Litros de leche producidos por hectárea	4.636
Tecnológica	Eficiencia técnica	4.591
	Buenas prácticas ganaderas	4.545
	Tasa de gestación	4.227

6.4. Medición de los indicadores en las unidades de producción

6.4.1. Determinación de biomasa y carga animal

La finalidad de conocer la cantidad de materia seca (biomasa) por unidad de producción fue conocer la disponibilidad de forraje para determinar la capacidad de carga animal y saber si se está utilizando la carga animal correcta y comprobar si existe o no sobrepastoreo. De acuerdo a Halffter et al. (2018), existe sobrepastoreo cuando se excede el número de animales y existen periodos largos de tiempo, impidiendo la regeneración y mantenimiento de la vegetación.

La producción de forraje promedio por unidad de producción fluctuó de 1.99 a 4.92 toneladas de materia seca por hectárea al año (Figura 6). Estudios relacionados con producción de forraje en trópico para la alimentación de ganado bovino doble propósito han encontrado producciones de 948 kilogramos de MS ha en pastoreo tradicional (Bacab-Pérez y Solorio-Sánchez, 2011). Otras investigaciones sugieren producciones en pasturas de 2.1 a 4.6

toneladas de MS/Ha en condiciones tropicales del estado de Puebla (Alatorre-Hernández et al., 2018). Sin embargo, estudios realizados por Trilleras et al. (2015), señalan que se debe tener cuidado en las gestiones en la producción de forraje dado que a largo plazo se compromete la sustentabilidad, la calidad y mantenimiento del mismo. En este mismo sentido, Rao et al. (2015) mencionan que al mejorar la cantidad y calidad de forraje se mejora la producción animal, la eficiencia alimenticia y reduce las emisiones de metano, pero puede aumentar las emisiones a nivel granja si la cantidad de animales no son constantes.

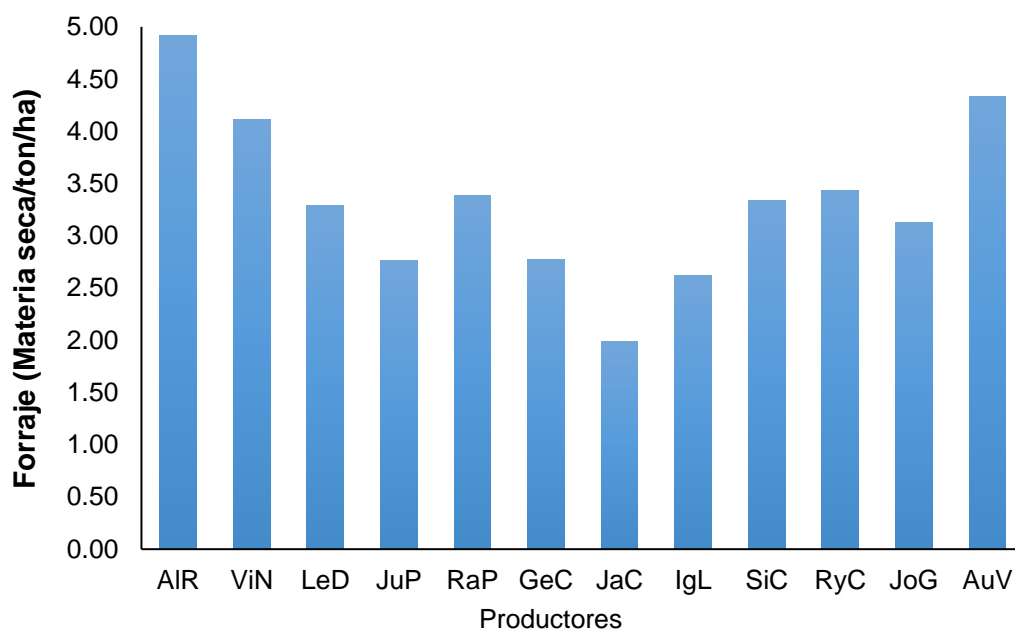


Figura 6. Producción de materia seca (ton/ha).

La carga animal usada por los productores en las unidades de producción observadas fue de 1.36 a 5.81 UA/ha, lo cual contrasta con lo encontrado por Vázquez-Selem et al. (2016), quienes encontraron valores de 0.84 a 1.61 UA/ha en municipios de Tepetzintla y Tierra Blanca en el estado de Veracruz. La carga animal (1.3 UA/ha) fue similar a las encontradas por Nájera-Garduño et al. (2016) en el suroeste del estado de México donde predomina el clima subtropical.

También se determinó la capacidad de carga por unidad de producción de acuerdo a la cantidad de forraje disponible. La capacidad de carga fluctuó de 1.14 a 2.64 UA/ha por año

(Figura 7). Lo anterior contrasta con lo encontrado por Gómez-Fuentes-Galindo et al. (2017), quienes encontraron una capacidad de carga animal de 0.16 a 0.50 UA/ha/año en la Península de Yucatán. De acuerdo a Zamora et al. (2017), el mal manejo de la capacidad de carga ocasiona baja productividad de los agostaderos y fomenta el abandono de las tierras, además permite el desarrollo de especies indeseables.

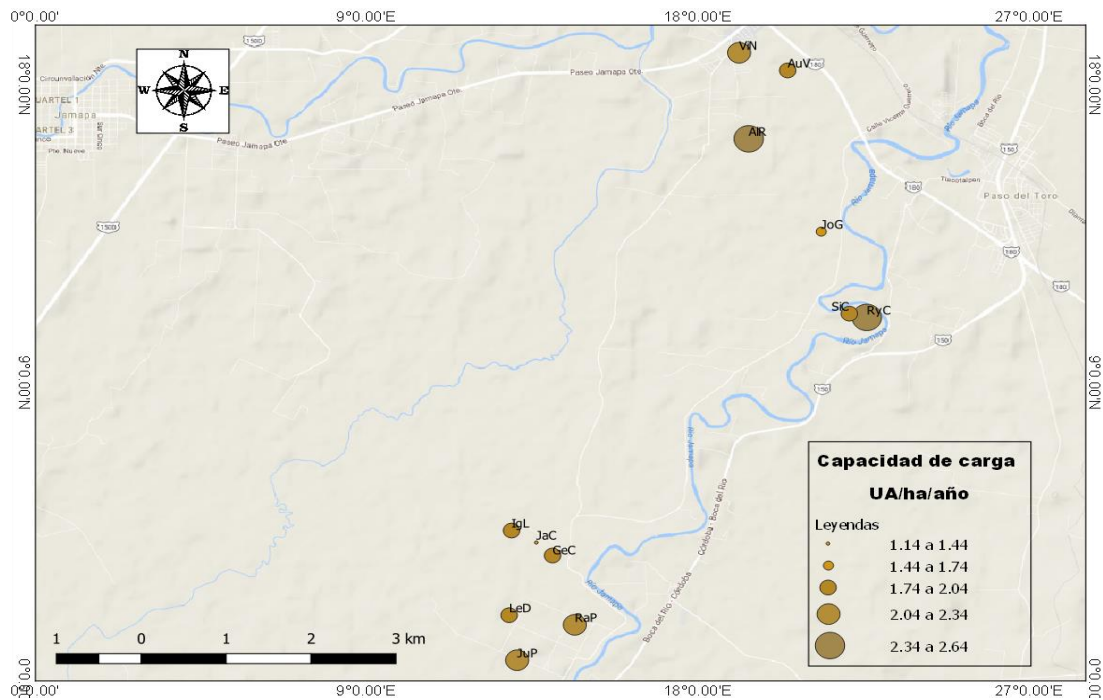


Figura 7. Capacidad de carga por unidad de producción.

El balance de materia seca (sobrepastoreo) encontrado en las unidades de producción fue desde 0.16 hasta 3.17 UA/ha/año y subutilizado en 0.5 UA/ha/año (Figura 8). De acuerdo a la SEMARNAT (2013), la principal causa de la degradación de los suelos es el sobrepastoreo con el 17.45% de la superficie del país (Cantú et al., 2018). Aunado a lo anterior, se encontró especies indicadoras de sobrepastoreo (Cuadro 7).

Cuadro 7. Especies identificadas en las unidades de producción e indicadores de sobrepastoreo según fichas informativas de CONABIO.

No	Nombre científico	Nombre común	Indica
1	<i>Senecio grisebachii</i> Baker	Margarita de campo, primavera	Indicadora de sobrepastoreo
2	<i>Sida cordifolia</i> L	Escobilla amarilla	Indicadora de sobrepastoreo
3	<i>Mimosa pudica</i>	Zarza, dormilona	Indicadora de sobrepastoreo

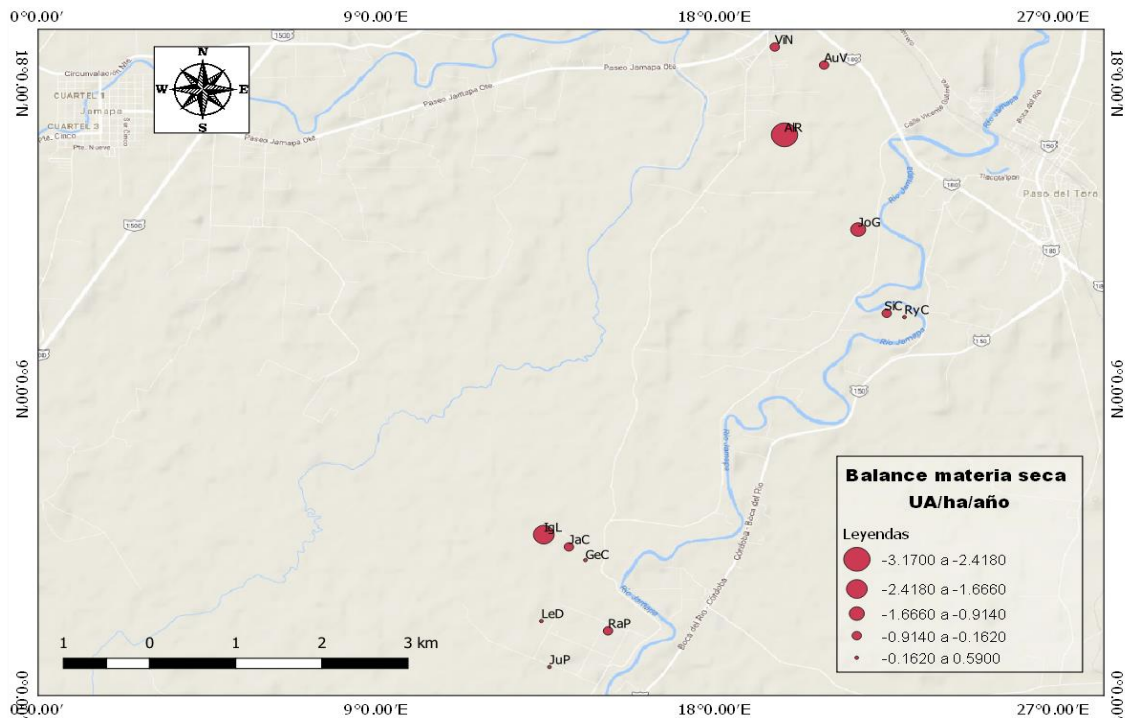


Figura 8. Balance de materia seca por unidad de producción.

6.4.2. Determinación de riqueza, equidad y diversidad de especies

La riqueza de especies presentes en las unidades de producción fue de 5 a 19 especies presentes; sin embargo, tres unidades productivas presentaron la menor riqueza de especies (Figura 9). El total de especies encontradas en las unidades productivas fue de 54, sin incluir los árboles usados para la división de potreros (Cuadro 8). Las especies encontradas en su

mayoría fueron las arvenses, seguidas de las especies utilizadas como forrajeras. Lo anterior contrasta a lo encontrado por Álvarez-Lopez et al. (2016), quienes reportan mayor riqueza de especies en un pastizal en el estado de México y representadas por las familias Poaceae, Asteraceae, Fabaceae, y Orchidaceae. De igual forma, se encontró en agroecosistemas de Cuba una riqueza de especies de 15 a 30 especies en fincas ganaderas y compuestas principalmente por pastos y leguminosas (Machado et al., 2010). Para algunos campesinos del trópico mexicano las arvenses son apreciadas por los beneficios que aportan al sistema al ser utilizadas como: alimentos, medicinas naturales, mejorar el suelo y controlar plagas (Blanco, 2016). Para Ramírez (2017) las arvenses son especies problemáticas por los altos costos que representa su control y para Alemán y Sánchez (2015), estas especies juegan un papel importante en el agroecosistema por actuar en el balance y como componente del mismo, como controlador de la erosión y en la conservación de la humedad, reciclaje de nutrientes y la preservación de la diversidad biológica.

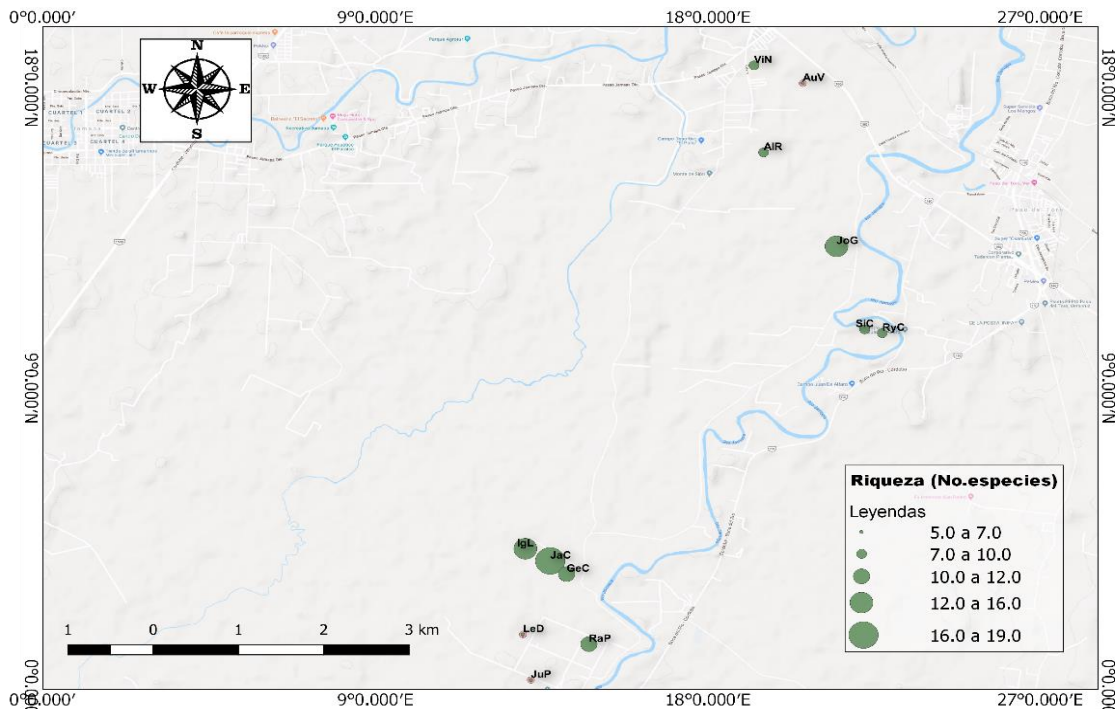


Figura 9. Riqueza de especies por unidad de producción.

Cuadro 8. Especies identificadas en las unidades de producción por familia y tipo.

No	Familia	Nombre científico	Nombre común	Tipo
1	Aizoaceae	<i>Trianthema portulacastrum</i> L	Verdolaga de hoja ancha	Arvense
2	Amaranthaceae	<i>Alternanthera obovata</i>	Verdolaga	Arvense
3	Amaranthaceae	<i>Amaranthus hybridus</i> L.	Quintonil, bledo, quelite de cochino	Arvense
4	Apocynaceae	<i>Asclepias curassavica</i> L.	Algodoncillo	Arvense
5	Araceae	<i>Colocasia esculenta</i>	Malanga	Tubérculo
6	Arecaceae	<i>Cocos nucifera</i>	Palma de coco	Árbol
7	Asteraceae	<i>Gnaphalium viscosum</i> Kunth	Gordolobo	Arvense
8	Asteraceae	<i>Melampodium divaricatum</i>	Flor amarilla, botón de oro	Arvense
9	Asteraceae	<i>Chromolaena odorata</i> (L.)	Cariaquillo Santa María, albahaquilla	Arbusto
10	Asteraceae	<i>Baltimora recta</i>	Guía limón, limoncillo	Arvense
11	Asteraceae	<i>Senecio grisebachii</i> Baker	Primavera	Arvense
12	Brassicaceae	<i>Cardamine hirsuta</i> L	Berro amargo	Arvense
13	Cactaceae	<i>Acanthocereus tetragonus</i>	Cruceta	Cactácea
14	Chenopodiaceae	<i>Chenopodium berlandieri</i> Moq.	Quelite cenizo	Arvense
15	Commelinaceae	<i>Murdannia nudiflora</i> (L.)	Espuelita	Arvense
16	Convolvulaceae	<i>Ipomoea purpurea</i> (L.) Roth	Frijolillo	Arvense
17	Convolvulaceae	<i>Calystegia sepium</i> (L.)	Correhuela mayor, hierba campana	Arvense
18	Convolvulaceae	<i>Ipomoea triloba</i> L.	Campanilla, quinamil, bejuco	Arvense
19	Convolvulaceae	<i>Ipomoea batatas</i>	Batata, papa dulce	Arvense
20	Convolvulaceae	<i>Merremia quinquefolia</i> (L.) Hallier f.	Guía Blanca	Arvense
21	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia marginata</i>	Hierba mata pescado, velo de novia	Arvense
22	Fabáceae	<i>Mimosa pudica</i>	Zarza, dormilona	Arvense
23	Fabáceae	<i>Pueraria phaseoloides</i>	Kudzu tropical	Leguminosa
24	Fabáceae	<i>Centrosema Plumieri</i> (Pers.) Benth.	Centrosema	Leguminosa
25	Fabáceae	<i>Senna obtusifolia</i> (L.) H. S. Irwin & Barneby	Palo zorrillo	Arvense
26	Fabáceae	<i>Chamaecrista nictitans</i>	Guajito, Zarcilla	Arvense
27	Fabáceae	<i>Acacia caven</i>	Acacia, espinillo	Arbusto
28	Fabáceae	<i>Acacia cornigera</i>	Cornizuelo, cuernecillo	Arbusto
29	Malvaceae	<i>Melochia pyramidata</i> L.	Bretonica piramidal	Arvense
30	Malvaceae	<i>Sida cordifolia</i> L.	Escobilla amarilla	Arvense

31	Malvaceae	<i>Malachra fasciata Jacq.</i>	Malva peluda	Arvense
32	Malvaceae	<i>Sida rhombifolia L.</i>	Escobilla	Arvense
33	Malvaceae	<i>Anoda cristata</i>	Violeta de campo	Arvense
34	Oxalidaceae	<i>Oxalis corymbosa</i>	Trébol Oxacb	Leguminosa
35	Papaveraceae	<i>Argemone Mexicana</i>	Chicalote o Cardo Santo	Arvense
36	Phytolaccaceae	<i>Petiveria alliacea</i>	Yerba del zorrillo	Arvense
37	Plantaginaceae	<i>Plantago major L.</i>	Llanten de agua	Arvense
38	Poaceae	<i>Cynodon plectostachius - Cynodon nlemfluensis</i>	Pasto estrella	Pasto
39	Poaceae	<i>Cynodon dactylon</i>	Pasto bermuda	Pasto
40	Poaceae	<i>Digitaria decumbens</i>	Pangola	Pasto
41	Poaceae	<i>Digitaria insulari</i>	Pasto amargo	Pasto
42	Poaceae	<i>Panicum maximum</i>	Mombaza	Pasto
43	Poaceae	<i>Brachiaria brizanta</i>	Insurgentes	Pasto
44	Poaceae	<i>Brachiaria mutica</i>	Paral, paja pará	Pasto
45	Poaceae	<i>Paspalum notatum Flügge</i>	Frente de toro, Remolino o Bahía	Pasto
46	Poaceae	<i>Echinochloa polystachya</i>	Pasto Alemán	Pasto
47	Poaceae	<i>Brachiaria híbrido</i>	Pasto mulato	Pasto
48	Poaceae	<i>Paspalum conjugatum</i>	Gramma	Pasto
49	Poaceae	<i>Panicum maximum</i>	Pasto privilegio	Pasto
50	Rosaceae	<i>Crataegus monogyna</i>	Espino blanco	Arbusto
51	Rubiaceae	<i>Galium mexicanum</i>	Cuajaleche	Arvense
52	Rubiaceae	<i>Borreria verticillata (L.) G. Meyer</i>	Escobilla blanca	Arvense
53	Solanaceae	<i>Datura stramonium L.</i>	Toloache, berenjena del diablo	Arvense
54	Solanaceae	<i>Solanum sisymbriifolium</i>	Revienta caballos	Arvense

Los árboles identificados por unidad de producción son descritos en el Cuadro 9, donde se encontró que la comunidad con mayor cantidad de especies es La Esperanza y Potrerillos. Por unidad de producción el número de especies máximo fue de 17 especies arbóreas y de 4 especies como mínimo, las cuales son utilizadas como cercas vivas o árboles de sombra. De acuerdo a Avendaño y Acosta (2000), existe escasez de especies arbóreas en las comunidades que a su vez implica acarreo de especies y gastos económicos.

Cuadro 9. Especies arbóreas identificadas en las unidades de producción por comunidad.

No.	Nombre científico	Nombre Común	Presencia en las comunidades
1	<i>Annona diversifolia</i>	Ilama	La esperanza
2	<i>Acacia bilimekii</i> J. F. Macbr.)	Tehuixtle	Potreriillos
3	<i>Acrocomia aculeata</i>	Palma coyol	Ixcualco, La esperanza
4	<i>Annona muricata</i>	Guanábano	Potreriillos
5	<i>Annona reticulata</i>	Anona	La esperanza
6	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss	Nim	Potreriillos
7	<i>Bambusa vulgaris</i>	Bambú	Ixcualco, La esperanza
8	<i>Bauhinia variegata</i> L.	Orquídea	La esperanza
9	<i>Bursera simaruba</i>	Mulato	El infiernillo, Ixcualco, La esperanza, Potreriillos
10	<i>Bursera sp</i>	Mulato blanco y rojo	El infiernillo
11	<i>Carica papaya</i>	Papaya	Ixcualco
12	<i>Cassia angustifolia</i> Vashl.	Árbol sent	El infiernillo y la Esperanza
13	<i>Cassia fistula</i>	Lluvia de oro, rama de oro	Potreriillos e Ixcualco
14	<i>Cecropia obtusifolia</i>	Chancarro, guarumo, hormiguillo	La esperanza
15	<i>Cedrela odorata</i>	Cedro	El infiernillo, Ixcualco, La esperanza, Potreriillos
16	<i>Ceiba pentandra</i>	Ceiba, pochote	Ixcualco, La esperanza
17	<i>Cestrum tomentosum</i> L. f.	Chacuaco	El infiernillo, La esperanza, Potreriillos
18	<i>Citrus aurantiifolia</i>	Limonar	La esperanza
19	<i>Citrus limon</i>	Limoncillo	La esperanza
20	<i>Citrus sinensis</i>	Naranja	Ixcualco, La esperanza, Potreriillos
21	<i>Coccoloba uvifera</i>	Uvero	Ixcualco
22	<i>Cordia dodecandra</i>	Cópite	Potreriillos
23	<i>Coussapoa microcarpa</i>	Higuera negra	El infiernillo, Ixcualco, La esperanza, Potreriillos
24	<i>Crataegus monogyna</i>	Espino blanco	El infiernillo, La esperanza, Potreriillos
25	<i>Ehretia tinifolia</i>	Frutillo	Ixcualco
26	<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb.	Nacaxtle	Potreriillos
27	<i>Eysenhardtia polystachya</i>	Palo dulce, taray	Ixcualco, La esperanza, Potreriillos
28	<i>Ficus benjamina</i>	Ficus	El infiernillo
29	<i>Gliricidia sepium</i>	Cocuhuite, mata ratón	El infiernillo, La esperanza, Potreriillos
30	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Guasamo, Guazimo	El infiernillo, Ixcualco, La esperanza, Potreriillos
31	<i>Litsea glaucescens</i>	Falso laurel	Ixcualco
32	<i>Mangifera indica</i>	Mango	El infiernillo, Ixcualco, La esperanza, Potreriillos
33	<i>Morus nigra</i>	Moral	El infiernillo, Ixcualco, Potreriillos
34	<i>Myrsine guianensis</i>	Cucharo	Potreriillos
35	<i>Parmentiera aculeata</i> (Kunth) Seem	Cuajilote	Ixcualco, Potreriillos

36	<i>Pithecellobium dulce</i>	Muchite	El infiernillo
37	<i>Propolis Glandulosa</i>	Mesquite	La esperanza
38	<i>Prunus domestica</i>	Ciruelo	Ixcualco, La esperanza, Potrerillos
39	<i>Psidium guajava</i>	Guayabo	Potrerillos
40	<i>Quercus robur</i>	Encino	El infiernillo, Ixcualco, Potrerillos
41	<i>Sabal mexicana</i>	Palma de apachite	El infiernillo, La esperanza
42	<i>Schinopsis balansae</i>	Quebracho	La esperanza
43	<i>Spondias mombin</i>	Jobo	Potrerillos
44	<i>Stemmadenia grandiflora</i>	Huevo de gato, lechugo, venenillo	La esperanza

Dentro de las especies más frecuentes en el sitio de estudio fue el árbol mulato (*Bursera simaruba*) y el cedro (*Cedrela odorata*). Lo cual difiere con lo reportado por Avendaño y Acosta (2000); quienes encontraron como especies más frecuentes: *Acacia farnesiana*, *Aechmea bracteata*, *Agave angustifolia*, *A. lophanta*, *Annona cherimola* en un estudio realizado con bases de datos florísticos del estado de Veracruz y ejemplares de herbarios.

El uso de las arvenses en las unidades de producción fue escaso (Cuadro 10), aunque las fichas de CONABIO reportan que 26 de las especies identificadas son de uso medicinal para algunas especies encontradas.

Cuadro 10. Usos de las arvenses según manuales de malezas y CONABIO y su uso local.

No	Nombre científico	Nombre común	Usos encontrados en literatura	Uso local por los productores
1	<i>Alternanthera obovata</i>	Verdolaga	Ninguno	Ninguno
2	<i>Amaranthus hybridus L.</i>	Quintonil, bledo, quelite de cochino	Comestible para personas y animales	Ninguno
3	<i>Anoda cristata</i>	Violeta de campo	Aliviar la tos, ornamental, forraje, y planta melífera	Ninguno
4	<i>Argemone Mexicana</i>	Chicalote o Cardo Santo	Propiedades purgantes y facilita el vómito	Usada para el paludismo, asma, gripe, cáncer, para evitar la caída del cabello y disminuir la hinchazón
5	<i>Asclepias curassavica L.</i>	Algodoncillo	Uso veterinario y pesticida	Hemorroides, vértigo y mareo
6	<i>Baltimora recta</i>	Guía limón, limoncillo	Ninguno	Ninguno
7	<i>Borreria verticillata (L.) G. Meyer</i>	Escobilla blanca	Sirve como remedio de afectaciones de la piel	Ninguno

8	<i>Calystegia sepium</i> (L.)	Correhuela mayor, hierba campana	Propiedades purgantes, facilita la expulsión y producción de la bilis	Ninguno
9	<i>Cardamine hirsuta</i> L	Berro amargo	Mal de ojo y curaciones	Ninguno
10	<i>Chenopodium berlandieri</i> Moq.	Quelite cenizo	Comestible como verdura	Ninguno
11	<i>Chromolaena odorata</i> (L.)	Cariaquillo Santa María	Para tratar la fiebre, para aliviar la retención de orina	Ninguno
12	<i>Datura stramonium</i> L.	Toloache, berenjena del diablo	Para inflamación de las glándulas, las hojas y semillas se usa como calmantes, además de ser una planta melífera	Ninguno
13	<i>Euphorbia marginata</i>	Hierba mata pescado, velo de novia	Tóxica si se ingiere e irritante de piel, ojos y boca. Usada para relleno de ramos y jardín	Se usaba para la pesca. Es abortiva en vacas, además de provocar urticaria e irritación en la piel y fiebre.
14	<i>Galium mexicanum</i>	Cuajaleche	Medicinal y pesticida	Ninguno
15	<i>Gnaphalium viscosum</i> Kunth	Gordolobo	Medicinal	Ninguno
16	<i>Ipomoea batatas</i>	Batata, papa dulce	Comestible, cobertura y ornamental	Buena para la engorda de cerdos y permite producir mayor cantidad de leche
17	<i>Ipomoea purpurea</i> (L.) Roth	Frijolillo	Medicinal, ornamental y melífera	Ninguno
18	<i>Ipomoea triloba</i> L.	Campanilla, quinamil, bejuco	Ninguno	Ninguno
19	<i>Malachra fasciata</i> Jacq.	Malva peluda	Se reporta algunos usos medicinales y crece en áreas perturbadas	Ninguno
20	<i>Melampodium divaricatum</i>	Flor amarilla, botón de oro, hierba de sapo	Uso medicinal y como forraje en estado tierno	Ninguno
21	<i>Melochia pyramidata</i> L.	Bretonica piramidal	Elaboración de escobas	Ninguno
22	<i>Merremia quinquefolia</i> (L.) Hallier f.	Guía Blanca	Uso medicinal	Ninguno
23	<i>Mimosa pudica</i>	Zarza, dormilona	Ornamental y para trabajos experimentales por sus hojas sensibles.	Ninguno
24	<i>Murdannia nudiflora</i> (L.)	Espuelita	Comestible como forraje	Ninguno

25	<i>Petiveria alliacea</i>	Yerba del zorrillo	Propiedades antiinflamatorias, analgésicas, inmunoestimulantes e hipoglucémicas, puede causar aborto e insecticida vegetal	Medicinal para la gripe, descongestión nasal y constipación
26	<i>Plantago major L.</i>	Llantén de agua	Astringente, inflamaciones oculares, úlceras y quita manchas de la piel, forraje, ornamental y comestible	Ninguno
27	<i>Senecio grisebachii Baker</i>	Primavera	Ninguno. Tóxica por sus alcaloides pirrolizidínicos, produciendo lesiones hepáticas en mamíferos	Ninguno
28	<i>Senna obtusifolia (L.) H. S. Irwin & Barneby</i>	Palo zorrillo	Purgante, como cataplasma y fuente de goma comercial y abono verde	Ninguno
29	<i>Sida cordifolia L.</i>	Escobilla amarilla	Melífera, se utiliza para el dolor e inflamación, quita la sensación de hambre e incrementa el metabolismo, pero puede ser tóxica. Indicadora de sobrepastoreo	Ninguno
30	<i>Sida rhombifolia L.</i>	Escobilla	Cura enfermedades del estómago, suero anticrotático para la víbora de cascabel y viuda negra elaborado a partir de la raíz	Para hacer escobas
31	<i>Solanum sisymbriifolium</i>	Revienta caballos	Propiedades diuréticas, antitusígenas, abortivas y para el cutis	Ninguno
32	<i>Trianthema portulacastrum L.</i>	Verdolaga de hoja ancha	Indicadora de suelos salobres y húmedos y favorecida por los monocultivos	Ninguno

La equidad de especies por unidad de producción, fluctúa de 0.61 a 0.91 (Figura 10), lo cual es similar a lo reportado por Rodríguez-Izquierdo et al. (2017), quienes encontraron un balance equitativo en las especies encontradas, siendo valores de uno, cuando las especies se encuentran repartidas de manera equitativa.

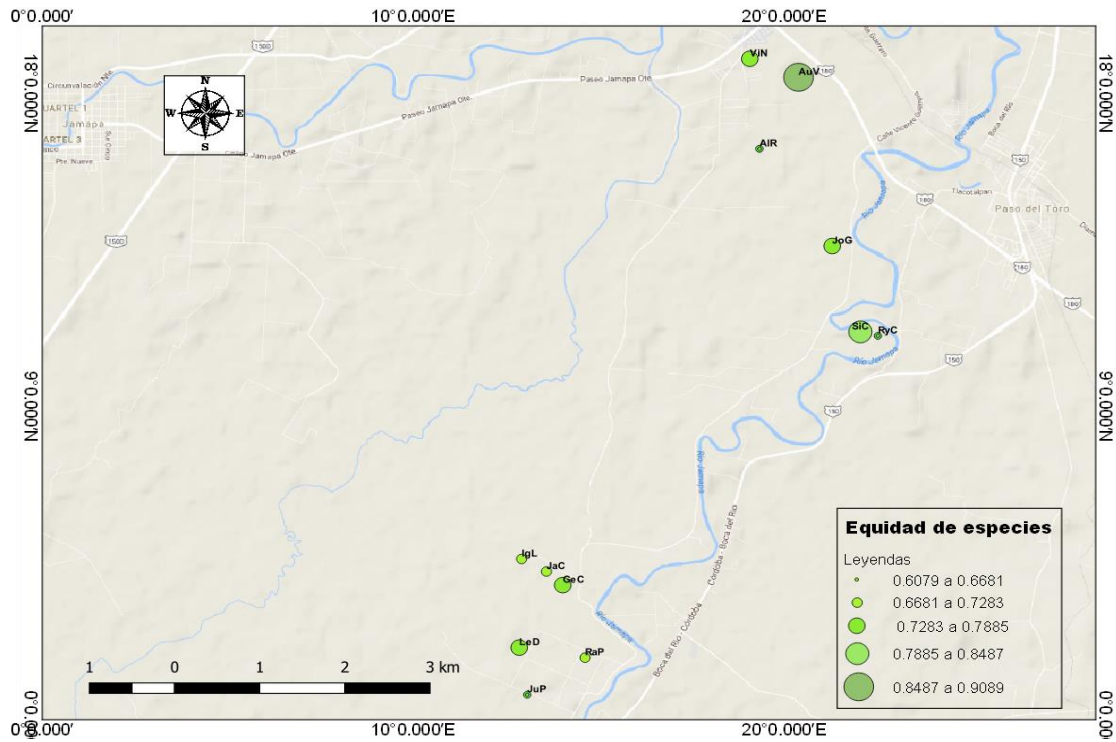


Figura 10. Equidad de especies por unidad de producción.

La diversidad de especies medido con el índice de Shannon-Wiener fue de 1.21 a 2.05 (Figura 11), la cual fue bajo de acuerdo a lo encontrado por Álvarez-Lopez et al. (2016) quienes reportan valores de 3.36 en pastizales de México. De acuerdo a Gelambi (2019), valores menores a dos son ecosistemas con una diversidad de especies baja y los valores mayores a tres son valores altos en diversidad; aunque para Velázquez et al. (2006) el índice de diversidad de Shannon-Wiener se ubica la mayoría de las veces entre los valores de 1.5 y 3.5 y rara vez sobrepasa los 4.5.

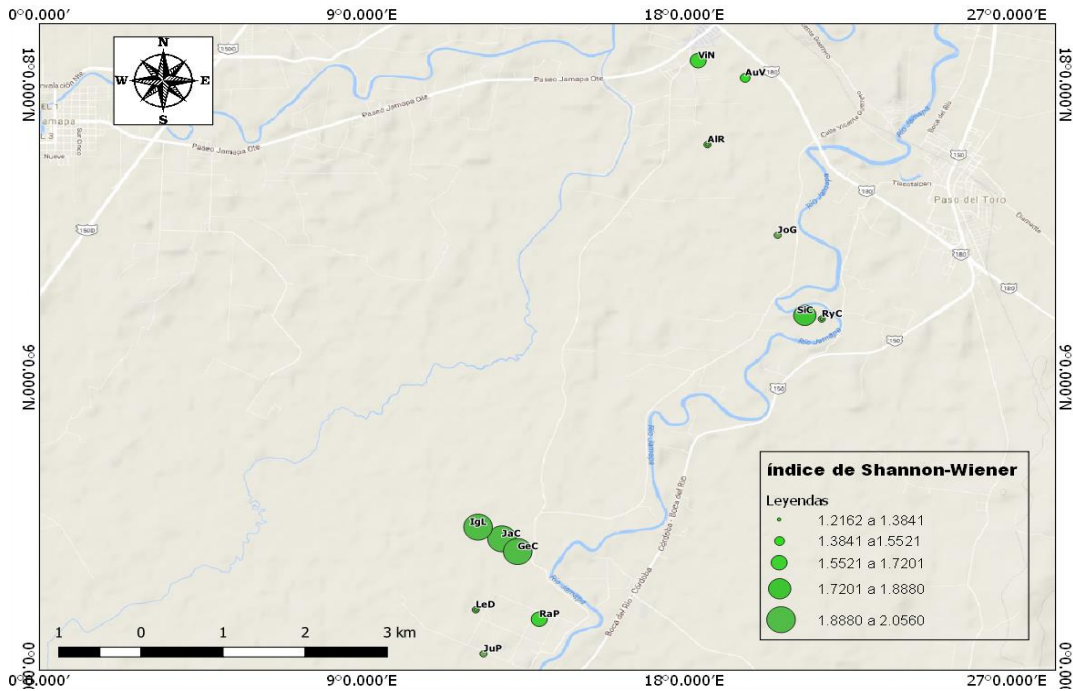


Figura 11. Valores de diversidad (índice de Shannon-Wiener) en las unidades de producción pecuarias.

6.4.3. Materia orgánica y erosión

La cantidad de materia orgánica fluctuó de 1.69 a 3.95 % (Figura 12). Estudios realizados por Cantú et al. (2018), reportan porcentajes de 2.08 % para tierras de pastoreo al noreste de México, lo cual es consistente con lo encontrado en este trabajo. De igual forma Rojas et al. (2018) reportan valores de 2.3 % de materia orgánica en tierras dedicadas al pastoreo. Acorde a la norma NOM 021 RECNAT 2000 AS-07 (DOF, 2002), los valores encontrados en el estudio fluctuaron en un rango de medianamente pobre a rico.

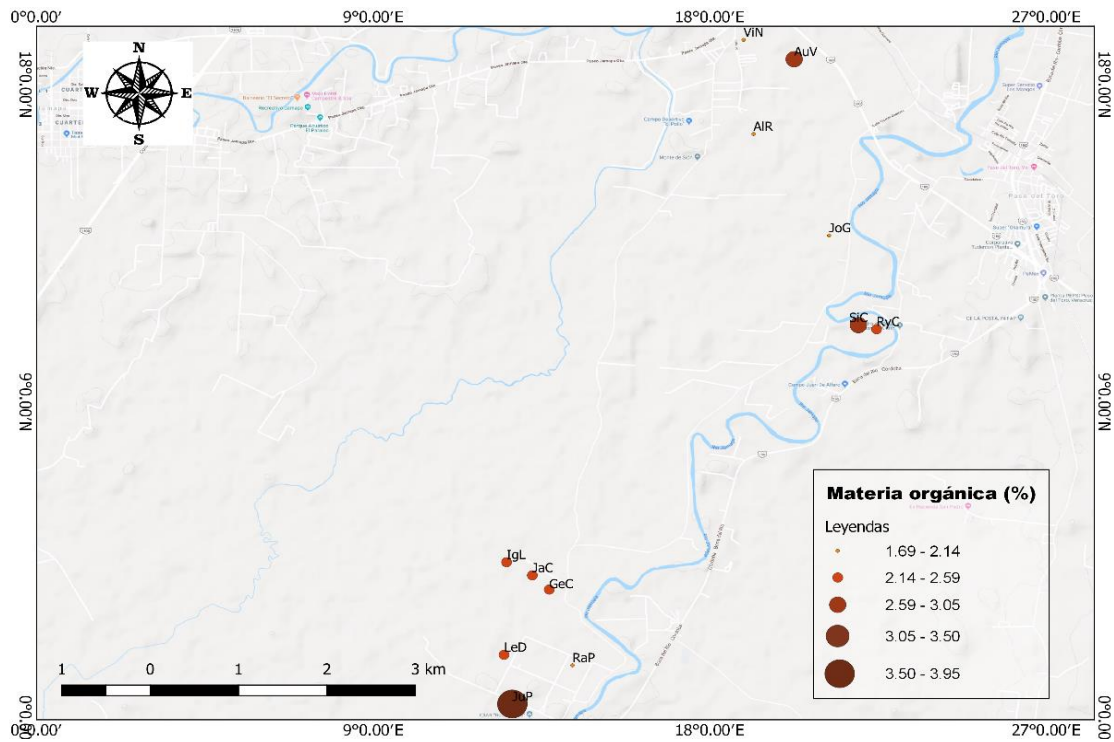


Figura 12. Valores de materia orgánica encontrados en las unidades de producción.

La erosión potencial por unidad de producción fue de 0.38 a 3.60 ton/ha/año (Figura 13), que de acuerdo a Delgado (2018) se ubica en la clase de riesgo ligero (0-10 ton/ha/año). Lo anterior, pudiera ser provocado por el cambio de uso de suelo y prácticas inadecuadas de conservación de suelos en los sistemas de producción agropecuarios (Melchor-Marroquín y Chagoya-Fuentes, 2016). Conforme a lo señalado por Hincapié-Gómez y Salazar-Gutiérrez (2014), la pérdida de la capa superficial del suelo disminuye la cantidad de materia orgánica, en donde suelos con erosión leve registran altos contenidos de materia orgánica y con erosión severa se registra materia orgánica baja; sin embargo, la cantidad de materia orgánica también puede perderse por las prácticas culturales y el nivel tecnológico.

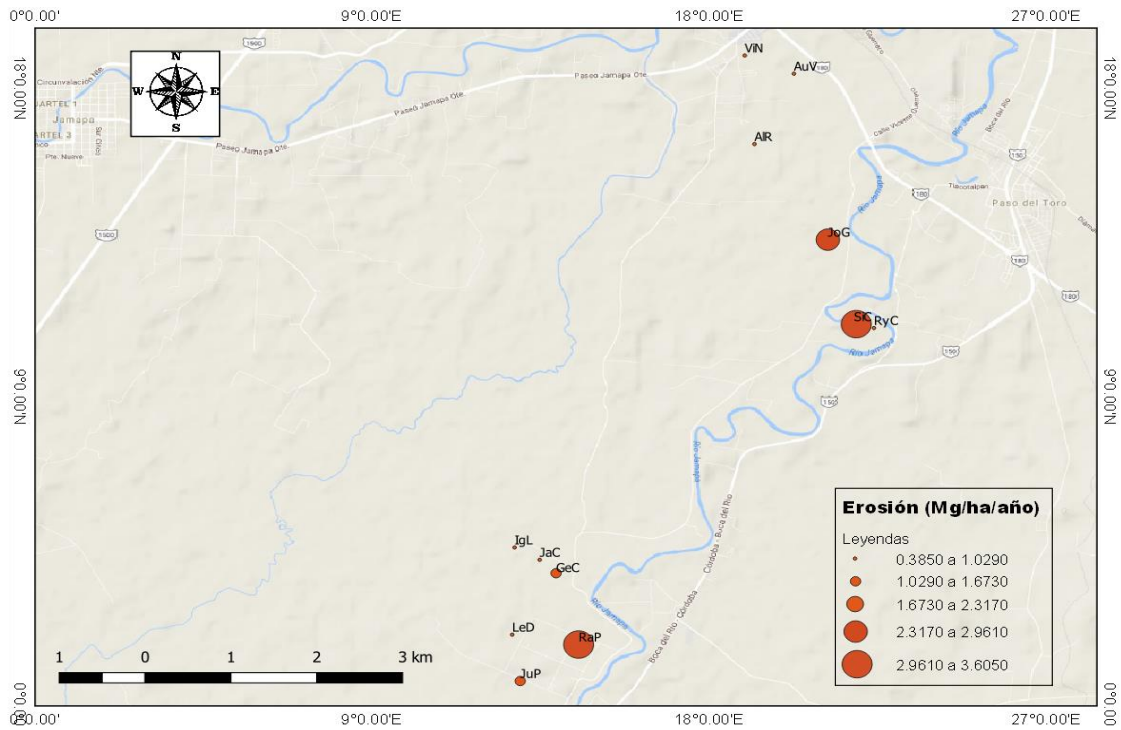


Figura 13. Estimación de erosión en las unidades de producción.

6.4.4. Determinación de calidad de agua

La calidad del agua fue determinada a través de la medición de la cantidad de nitratos, salinidad total y coliformes fecales presentes en el agua destinada para el consumo en la unidad de producción. La cantidad de nitratos fluctuó de 0.13 a 3.49 mg N-NO₃ /L. (Figura 14). Al respecto, Sager (2000) menciona que los niveles máximos aceptados son de 200 mg/L, los cuales al ser ingeridos por los animales son transformados en nitritos que son muy tóxicos para los rumiantes. La presencia de nitratos son indicadores de contaminación orgánica y relacionados con la fertilización agrícola (INTA, 2010). Por lo anterior se deduce que la cantidad está muy por debajo de los niveles máximos permisibles.

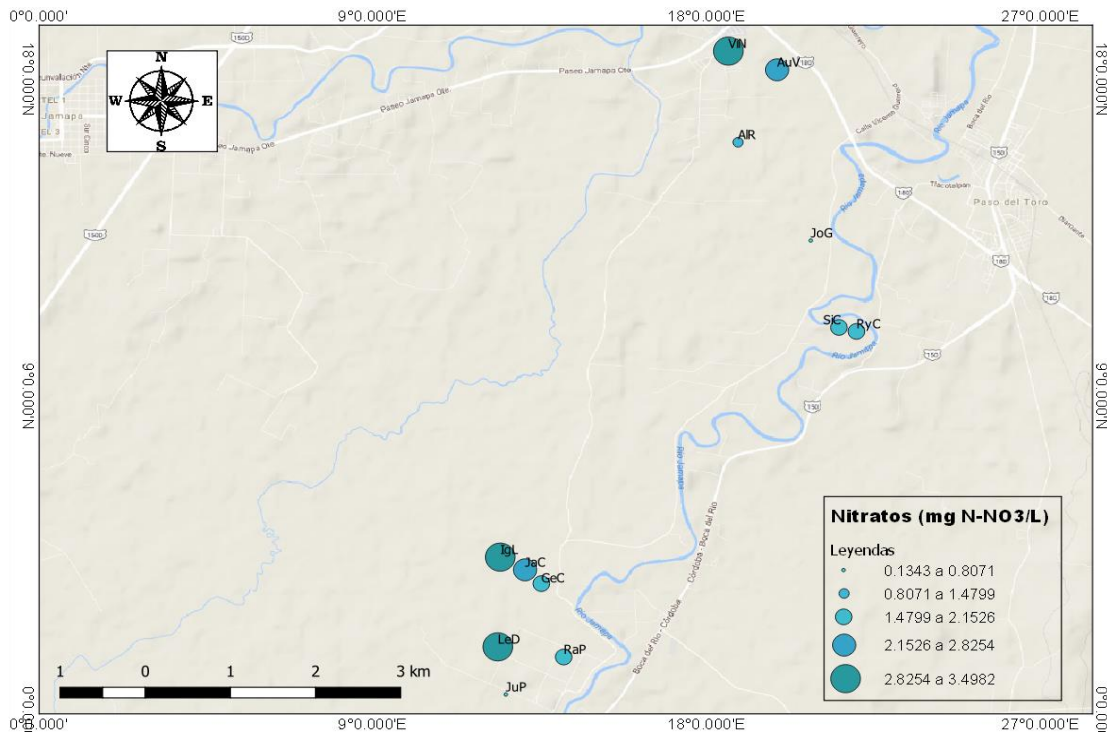


Figura 14. Cantidad de nitratos observados en las unidades de producción.

La cantidad de sales totales está determinada por los compuestos solubles del agua, este indicador varió de 18 a 57 mg/L. en las unidades de producción (Figura 15). Al respecto, Sager (2000) señala que valores menores de 1.5 g/L necesitan suplementación mineral y valores superiores (2 a 4 g/L) no requieren suplementación a menos que sean aguas con exceso de sulfato. Por lo que estos valores son deficientes en sales totales de acuerdo a la clasificación de aguas para bebida de Bavera (2009), las cuales no contribuyen con minerales por lo que se deberá administrar permanentemente suplementación mineral a libre acceso.

La cantidad de coliformes fecales se visualiza en la Figura 16. Cortés-Lara (2003) menciona que niveles bajos de coliformes fecales son buenos indicadores de ausencia de organismos patógenos, y esto es evidencia de contaminación de origen fecal. De acuerdo a la OMS (2006) la presencia de *E. coli* es indicadora de contaminación fecal reciente y que en aguas subterráneas puede variar de 0 a 1,000 UFC/L. Para González (2018), la cantidad de coliformes fecales que presentan un rendimiento reducido en el ganado van de 1.0 a 2.5 UFC/100 ml y cuando estos valores son mayores a 5 UFC/100 ml son inaceptables para el

ganado. Por lo que, en esta investigación, más de la mitad de unidades muestreadas presentan valores por encima (5 UFC/100 ml) de lo señalado por González (2018).

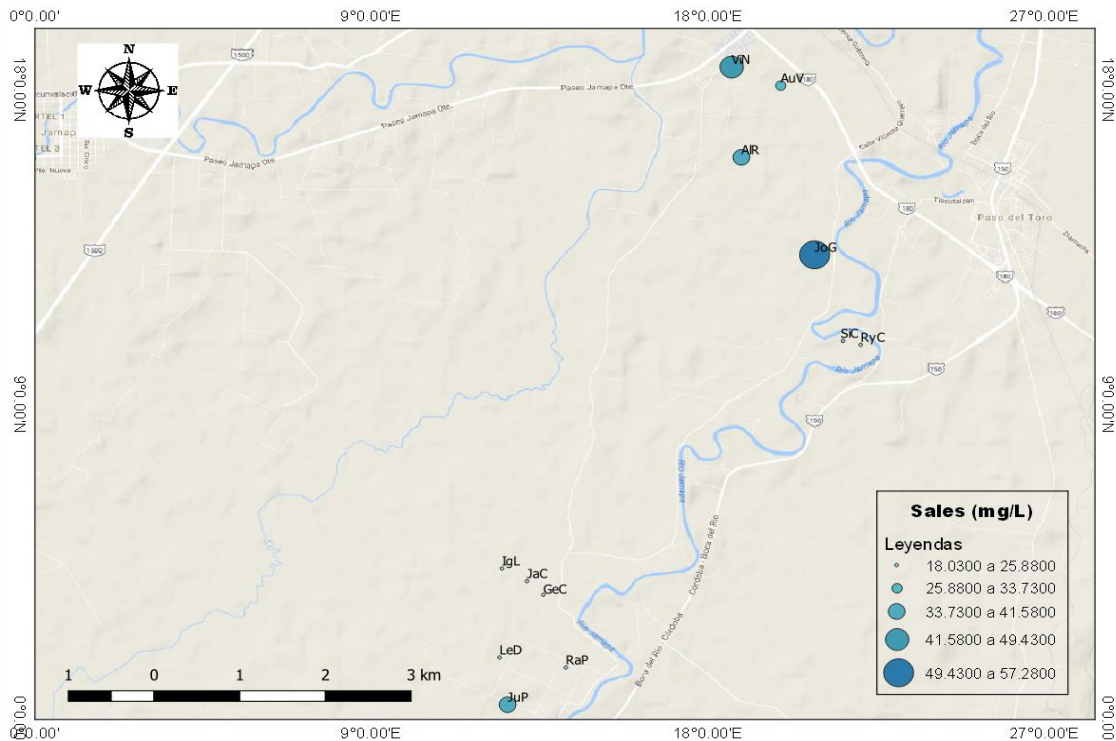


Figura 15. Análisis de sales totales por unidad de producción.

En países como Chile se acepta la presencia de coliformes totales en una concentración menor o igual a 5 NMP/mL. para agua de consumo animal o de consumo humano (Valenzuela et al., 2012). En la presente investigación los valores de coliformes totales fluctuaron entre 11 a 28 NMP/MI (Figura 17). lo cual muestra la poca eficiencia en los tratamientos de limpieza (OMS, 2006). Por lo que estos valores, sugieren la presencia de bacterias que pueden causar problemas de salud pública por contaminación fecal (Rodríguez et al., 2012).

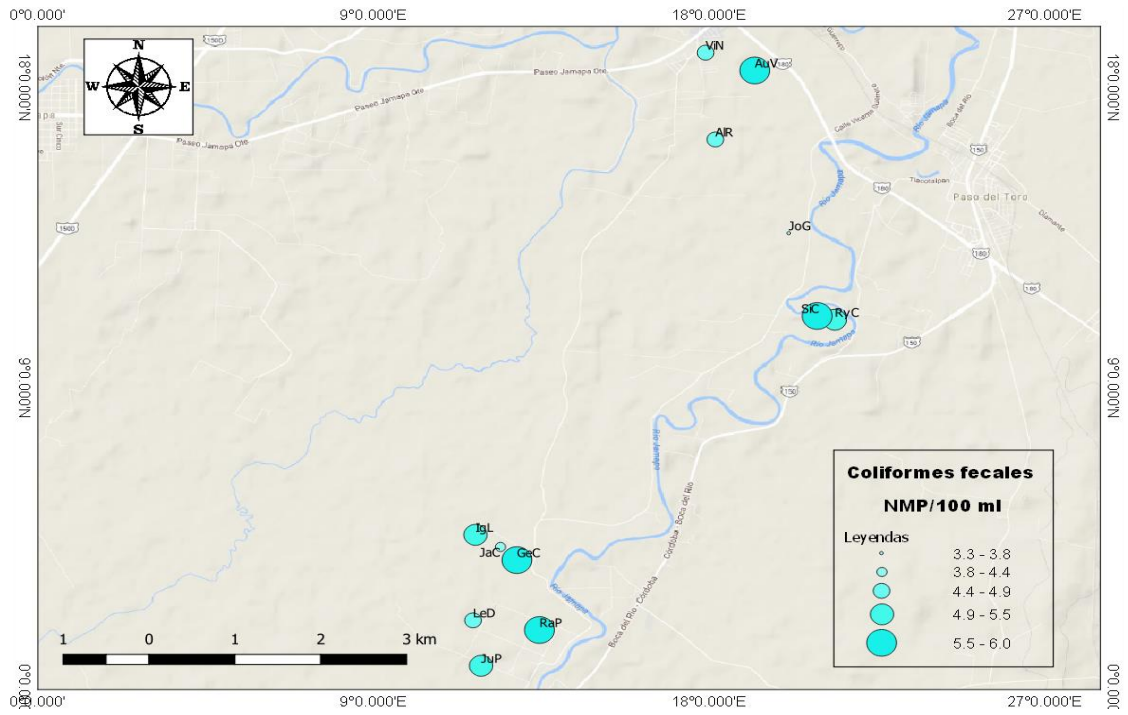


Figura 16. Presencia de coliformes fecales en pozos y ríos que proveen a las unidades de estudio.

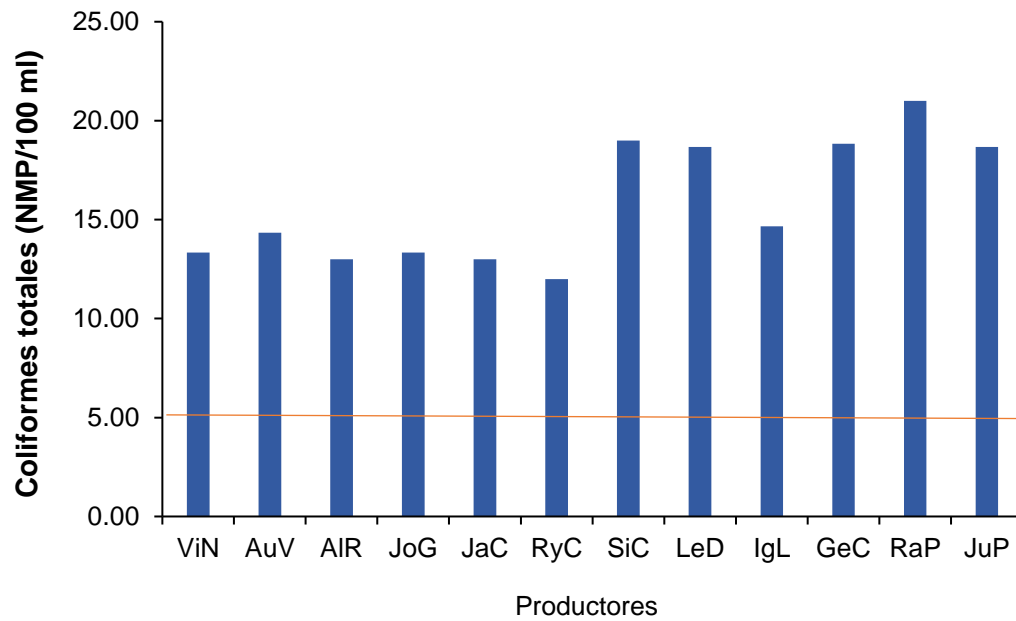


Figura 17. Cantidad de coliformes totales por unidad de producción. La línea representa la cantidad de coliformes totales permitidos para consumo animal o humano.

6.4.5. Determinación de pobreza alimentaria

La pobreza alimentaria fue determinada a partir del consumo de alimentos, se determinó el consumo de carbohidratos, proteína y kilocalorías de la persona responsable de la unidad de producción. La cantidad de carbohidratos consumidos fue de 140 a 325 gramos por día (Figura 18A). Vázquez-García et al. (2005), señalan valores promedio de 333 a 450 gramos. Los hidratos de carbono requeridos de acuerdo a Fuster y Marín (2007) son de 130 gramos por día para hombres y mujeres menores de 70 años, la cual es suficiente para cubrir los requerimientos del cerebro en más del 98% de las personas sanas. Autores como Ondarza (2018) señalan que los carbohidratos desempeñan funciones de producción de energía, comunicación celular, protección física frente al ambiente y adhesión celular.

La cantidad de proteína consumida por persona en las unidades de producción fue de 41 a 106 gramos por día (Figura 18B). Datos encontrados por Fuster y Marín (2007) señalan requerimientos de 56 gramos por día en varones entre 31 y 70 años; mientras que para mujeres los requerimientos son de 46 gramos para el mismo rango de edad. Otros estudios reportan valores de 63 a 72 gramos en comunidades de sur de Veracruz, México (Vázquez-García et al. 2005). Con lo anterior, se encontró que cuatro responsables de las unidades analizadas no cumplen con sus requerimientos mínimos de proteína, lo que sugiere que no se está cubriendo sus necesidades de alimentación.

El consumo de energía fue de 1,400 a 3,400 kilocalorías por día (Figura 19). Vázquez-García et al. (2005), muestran consumos de 2,008 y 2,413 kcal en el sur del estado de Veracruz. De acuerdo a Muñoz (2013), estos datos se encuentran dentro del rango permisible de energía para este grupo de edad, los cuales pueden fluctuar de 2,254 a 2,627 kilocalorías. Acorde a lo señalado por Carbajal (2013), el balance entre las necesidades de energía y la ingesta calórica determina el peso corporal; si este balance es positivo y la dieta aporta más energía de la necesaria, el exceso es almacenado en forma de grasa y da origen al sobrepeso y obesidad y cuando la ingesta de energía es menor son utilizadas las reservas corporales disminuyéndose el peso y originando malnutrición. Dávila-Torres et al. (2015) menciona que en México la obesidad y el sobrepeso representan un grave problema de salud pública que

afecta a 7 de cada 10 adultos y que para su atención es necesario estrategias con participación social. Con lo anterior, los datos muestran que existe una mala nutrición por deficiencia en el consumo de kilocalorías en la mayoría de los responsables de las unidades estudiadas, lo cual repercute en la salud y bienestar; además de contribuir la aparición de enfermedades crónicas. En este sentido, Bolet y Socarrás (2009) mencionan que la pérdida muscular en adultos mayores se debe al incumplimiento de las necesidades energéticas ocasionadas por la pérdida de apetito y al déficit de la ingesta.

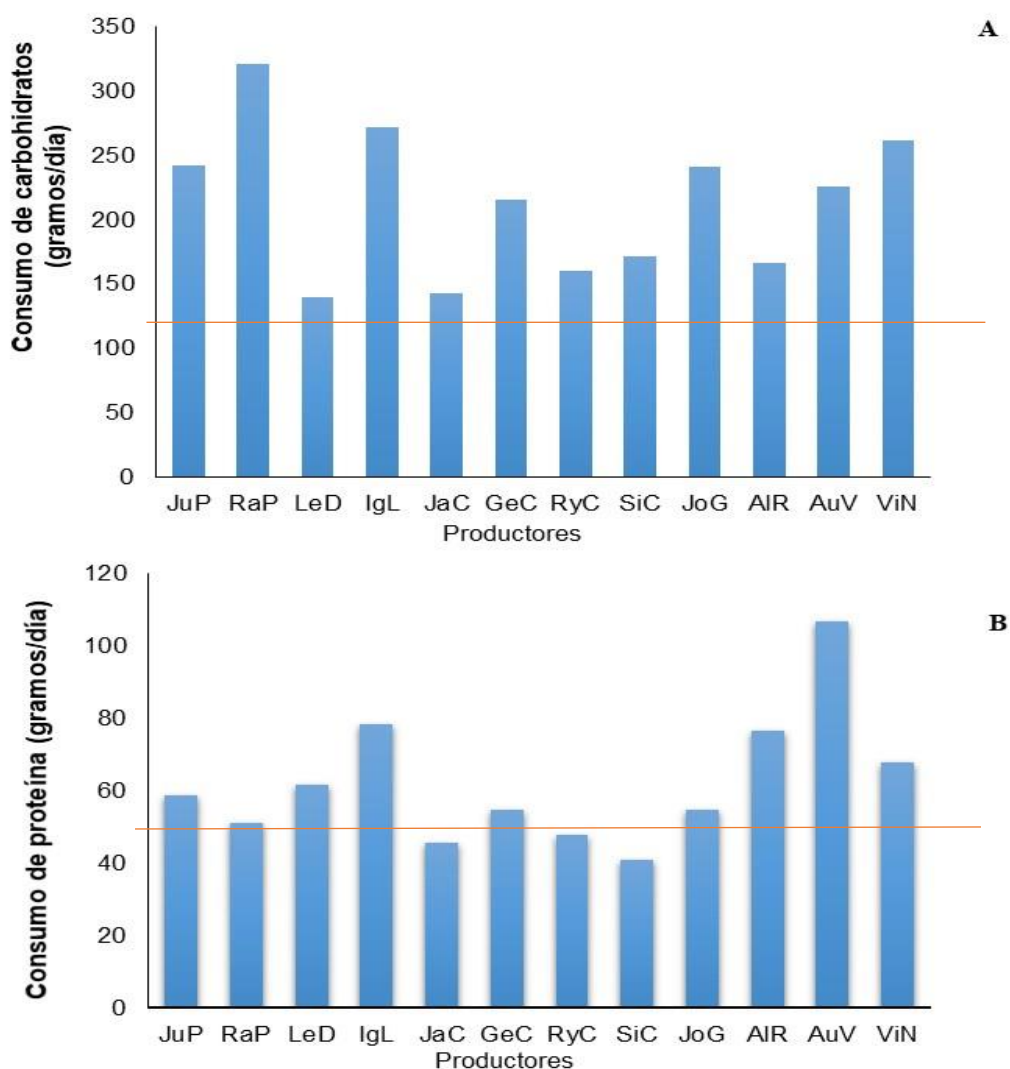


Figura 18. Consumo de carbohidratos por productor propietario (A), Consumo de proteínas (gramos/día) en las unidades de producción (B). Las líneas representan los requerimientos de carbohidratos y de proteína respectivamente, en hombres y mujeres menores de 70 años.

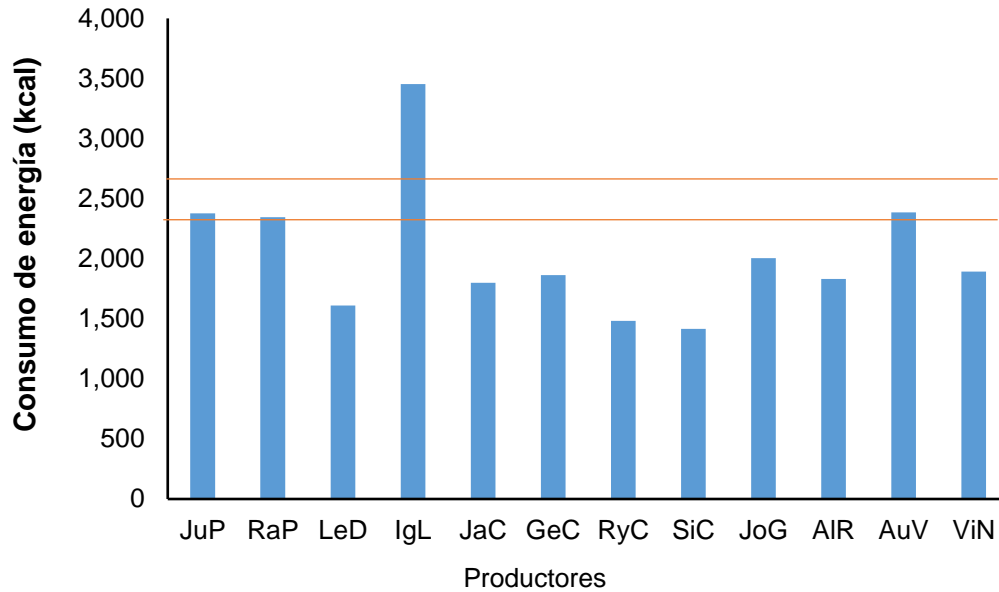


Figura 19. Consumo de energía en kcal por manejador del sistema productivo. Las líneas representan el rango permisible de energía para personas menores de 70 años.

El consumo de vegetales en la semana fue poco, pues verduras como acelga, calabacitas, elote, espinaca, pepino y zanahoria reportaron nulo y escasa utilización (Cuadro 11).

Las frutas más consumidas en la semana son la naranja, mango y piña (Cuadro 12), otras frutas como el durazno, guayaba, fruta en conserva, frutos secos y uvas son muy pocos o de consumo nulo en la unidad de producción.

Cuadro 11. Alimentos energéticos y legumbres consumidas por jefe de familia a la semana.

Nombre	Arroz	Pastas	Pan dulce	Tortilla	Masa	Brócoli (porción)	Champiñón (porción)	Chayote (porción)	Chile habanero (pieza)	Coliflor (porción)	Lechuga (porción)	Nopal (porción)	Papas (porción)
RaP	199.99	35.71	2,100.00	777.78	0.00	0	2	0	5	0	0	1	0
SiC	700.00	41.67	900.00	1,050.00	200.00	0	3	3	0	1	0	2	2
RyC	1,200.00	125.00	1,260.00	560.00	0.00	2	1	2	12	2	0	1	1
Gec	200.00	62.50	360.00	500.00	0.00	0	1	2	2	1	0	1	1
ViN	133.34	100.00	2,100.00	0.00	0.00	0	1	0	8	2	4	0	0
JoG	375.00	125.00	420.00	500.00	1,500.00	1	1	0	21	0	1	10	2
JaC	500.00	240.00	3,780.00	350.00	500.00	3	1	7	1	1	1	1	3
IgL	700.00	0.00	840.00	3,500.00	666.67	1	1	0	0	3	4	4	2
AuV	700.00	0.00	1,680.00	1,980.00	0.00	0	2	12	18	0	3	3	0
AlR	0.00	0.00	2,940.00	3,500.00	0.00	3	2	18	0	1	6	2	0
LeD	150.00	70.00	157.50	250.00	0.00	1	1	1	4	1	0	0.5	0
JuP	204.00	210.00	2,100.00	500.00	0.00	2	2	0	9	2	0	2	0

Cuadro 12. Frutas consumidas por jefe de familia en las unidades de producción.

Nombre	No. de Integrantes	Mango (pieza)	Manzana (pieza)	Melón (pieza)	Naranja (pieza)	Papaya (porción)	Piña (porción)	Plátano (pieza)	Pomelo (pieza)	Sandía (porción)	Zapote mamey (porción)
RaP	7	0	0	0	1	1	3	1	0	0	0
SiC	4	3	1	0	7	6	0	0	7	0.5	2
RyC	2	1	1	1	1	1	7	2	0	0	3
Gec	4	1	1	1	2	1	2	2.5	1	1	2
ViN	5	7	2	2	5	1	2	1	0	0	0
JoG	4	2	1	0	2	2	4	1	0	0	1
JaC	6	7	1	1	2	1	0	0.5	1	1	2
IgL	2	3	2	0	6	1	7	2	0	0	1
AuV	3	3	1	0	1	1	0	0	0	0	0
AlR	2	0	0	0	6	1	0	0	0	0	0
LeD	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JuP	5	1	1	1	4	4	0	1	2	1	0

El consumo de alimentos que aportan proteína de origen vegetal es escaso en la unidad de producción, pues alimentos como garbanzos, chicharos, habas no son consumidos con normalidad (Cuadro 13).

Cuadro 13. Consumo de proteínas de origen vegetal en la unidad de producción por semana.

Nombre	Lentejas (porción)	Frijoles (porción)	Leche (ml)	Yogurt (ml)	Queso (gramos)
RaP	0	20	0	0.00	0.00
SiC	2	6	350	500.00	0.00
RyC	0	20	350	0.00	0.00
Gec	0	20	0	750.00	0.00
ViN	0	7	0	500.00	0.00
JoG	0	20	300	250.00	0.00
JaC	1	4	0	0.00	28.57
IgL	1	10	450	1,750.00	0.00
AuV	0	10	0	0.00	50.00
AlR	0	0	50	250.00	0.00
LeD	0	20	250	250.00	375.00
JuP	0	12	400	200.00	300.00

El consumo de carnes y mariscos por productor se muestra en la Figura 20. El mayor consumo es de carne de pollo, huevo, carne de res y por último el consumo de carne de puerco. En relación a la carne de res, en promedio se están consumiendo 254 g por persona a la semana, lo que es menor al consumo per cápita reportado a nivel nacional, el cual oscila en 345 gramos por persona a la semana (COMECARNE, 2018). El consumo de carne de pollo fue de 370 gramos por persona/semana, al respecto COMECARNE (2018) señala consumos perca pita de 632 gramos a la semana. Lo cual sugiere que ambos consumos están por debajo del consumo nacional.

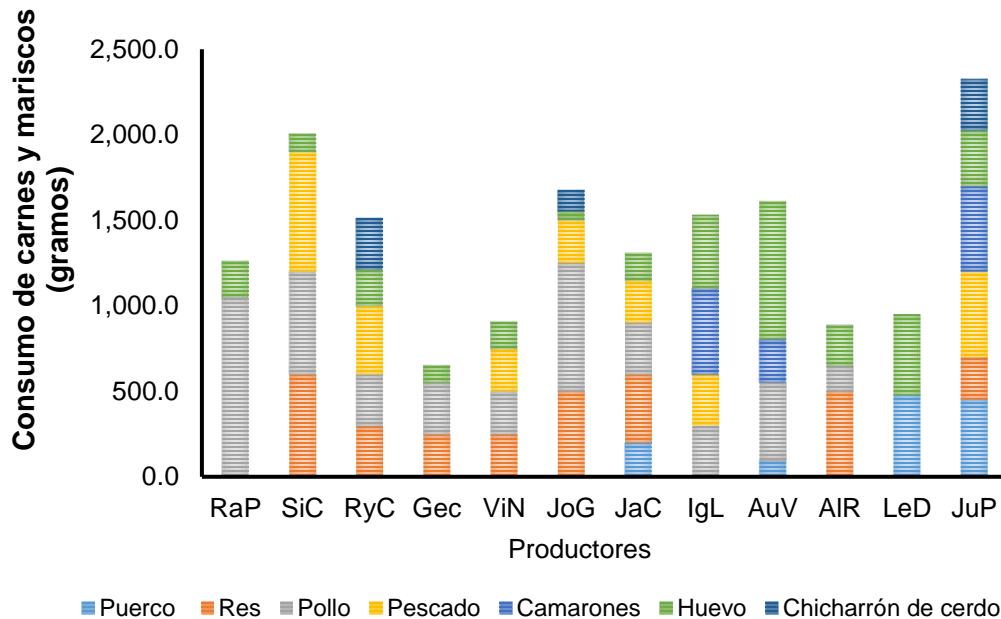


Figura 20. Consumo de carnes y mariscos por productor cooperante a la semana.

Los líquidos consumidos en las unidades de producción a la semana se ilustran en la Figura 21, el mayor consumo es de agua, ya sea simple o natural, seguida de café y el refresco. Resultados en relación al consumo de agua son similares a los reportados por Gaona-Pineda et al. (2018), quienes señalan el consumo de agua todos los días de la semana. En este sentido Montero-Contreras (2016), reportan en la ciudad de México consumos per cápita por día de 1.07 litros/día. En cuanto al consumo de refresco en México, Palacios et al. (2016), mencionan que el consumo de refresco en México va en aumento, lo que a su vez repercute en problemas de obesidad y sobrepeso. Sin embargo, lo anterior no fue evidenciado en nuestro estudio. Al respecto, Hernández et al. (2018) señalan que el consumo de alimentos o patrón alimentario está influido por los factores ambientales, económicos, sociales, culturales y prácticas publicitarias.

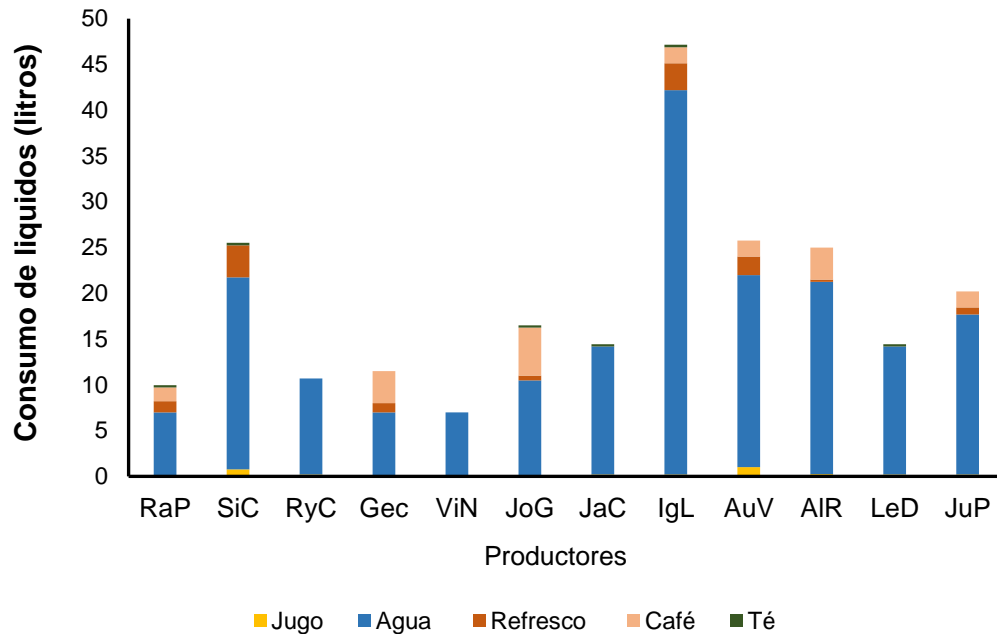


Figura 21. Consumo de líquidos en cada una de las unidades de producción analizadas.

6.4.6. Determinación de nivel de alfabetización

El nivel de alfabetización fluctuó de 1 a 10 puntos; aunque la mayoría fue de 5 a 10, dato que coincide con la escolaridad de los productores y que influyó en el puntaje (Figura 22). Lo anterior coincide con lo reportado por Zepeda et al. (2016), quienes encontraron que productores dedicados a la ganadería en Chiapas sólo alcanzaron el nivel básico de escolaridad que a su vez está asociado a la pobreza. De igual forma estos resultados confirman que productores con más escolaridad mostraron mayor alfabetización, lo anterior debido posiblemente a que este proceso involucra apropiación de conocimientos sobre el lenguaje escrito, prácticas de lectura y escritura; además de la práctica social ante la sociedad (Kurlat et al., 2018). Por otra parte, de acuerdo a Tovar (2017), la alfabetización en México es el resultado de las políticas llevadas a cabo desde la década de 1940 en donde se adopta la escuela general pública y se elimina la escuela rural y agraria, además de la escasa relación de las necesidades de la vida rural con la urbana y el alojamiento a la realidad lingüística, económica y cultural de los grupos indígenas; la imposición de una sola lengua y por último los escasos recursos asignados a la educación.

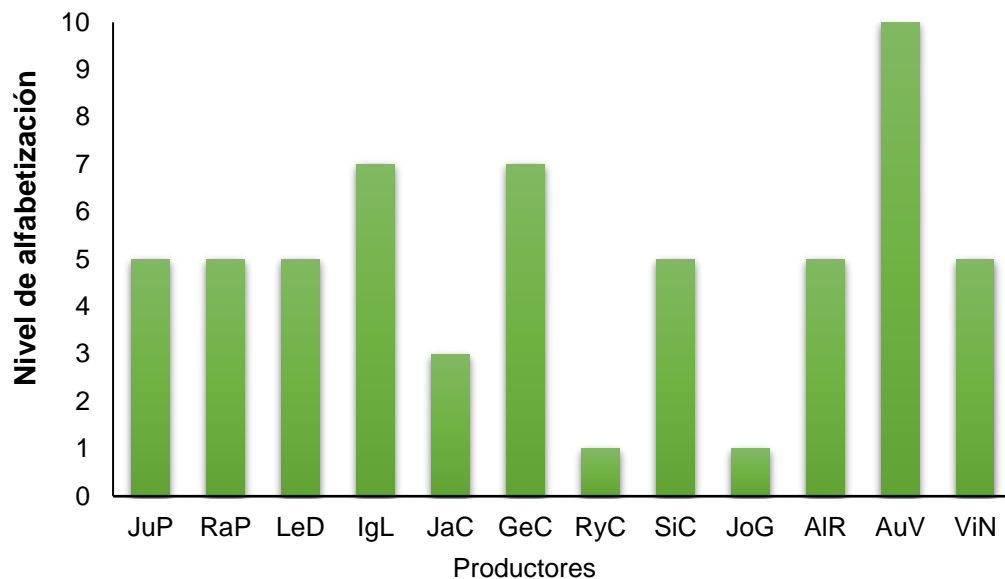


Figura 22. Nivel de alfabetización de productores de ganado bovino.

6.4.7. Determinación de ingresos familiares

Los menores ingresos percibidos al año fueron de 79,920 y 97,520 pesos al año para dos productores estudiados (Figura 23). Lo anterior debido a la poca cantidad de leche vendida y venta de ganado; aunado a que uno de ellos no percibe ningún otro ingreso, ni subsidios por parte de programas de gobierno federal. El promedio de ingresos percibidos por las unidades productivas fue de 261,429 pesos. El mayor ingreso registrado se debió a la diversificación de las actividades productivas; además de que otros miembros de la familia también contribuyen al ingreso familiar, ocupándose en municipios cercanos a su lugar de origen; así mismo, los mayores ingresos registrados fueron por la venta de animales.

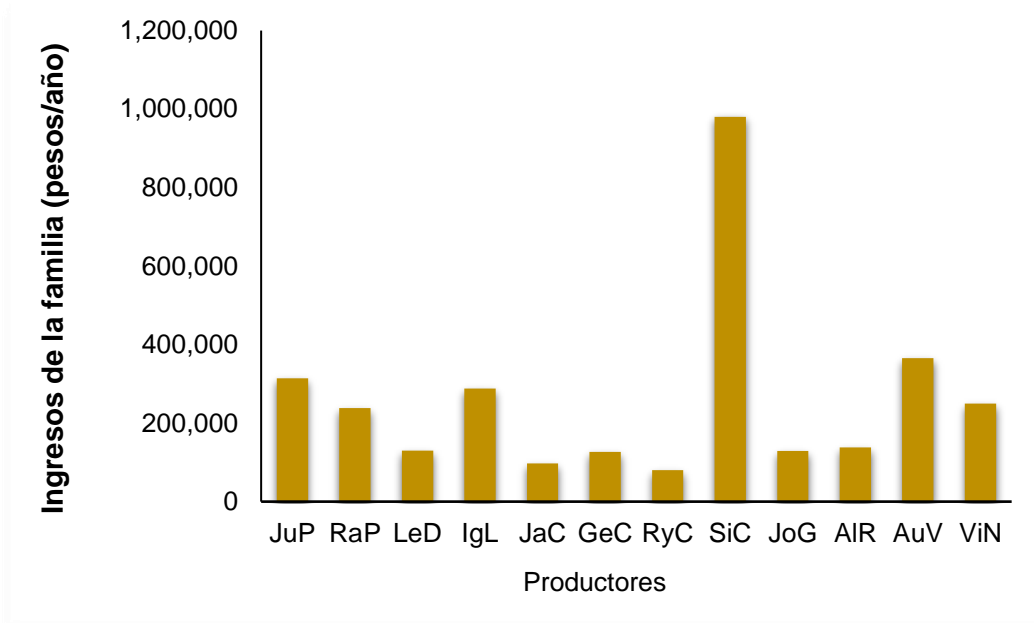


Figura 23. Ingresos familiares por unidad de producción bovina.

De los ingresos percibidos anualmente, la actividad ganadera contribuye desde el 52 al 100%. Lo anterior concuerda con lo reportado por Díaz-Rivera et al. (2011), quienes señalan porcentajes del 77% de contribución de este tipo de ganadería al gasto familiar en las Choapas, Veracruz. Estos mismos autores encontraron ingresos de 234, 330 pesos generados por la actividad ganadera por venta de leche y carne. En comparación, en nuestro trabajo se encontró ingresos en promedio de 209,159.67 pesos. El ingreso más alto generado por esta actividad fue de \$811, 950; correspondiendo a productores de tipo empresarial de acuerdo a lo señalado por Díaz-Rivera et al. (2011). Ingresos mayores fueron encontrados por Estrada et al. (2018), quienes reportan valores de 1,495,225.00 para sistemas doble propósito con manejo silvopastoril. En contraste, productores del estado de México reportan ingresos en promedio de 171,280 pesos anuales en unidades de producción extensivas (García-Martínez et al., 2015).

6.4.8. Tasa de gestación

Se encontró tasas de gestación del 25 al 50 por ciento en las unidades de producción (Figura 24). Autores como González-Stagnaro et al. (2003) reportan valores en ganado bovino doble

propósito de 46 a 60% en granjas con manejo tradicional y del 46 al 65% en sistemas mejorados en Maracaibo, Venezuela. De igual forma Sandoval et al. (2017) encontraron valores en promedio del 44% en lecherías intensivas de Lima, Perú. Menores tasas de gestación fueron halladas por Magaña-Monforte et al. (2018) quienes encontraron valores del 30% en Yucatán, México. De acuerdo con estos mismos autores, los factores que afectan este parámetro son la falta de su detección, salud reproductiva, número de ordeños, número de parto y estrés calórico.

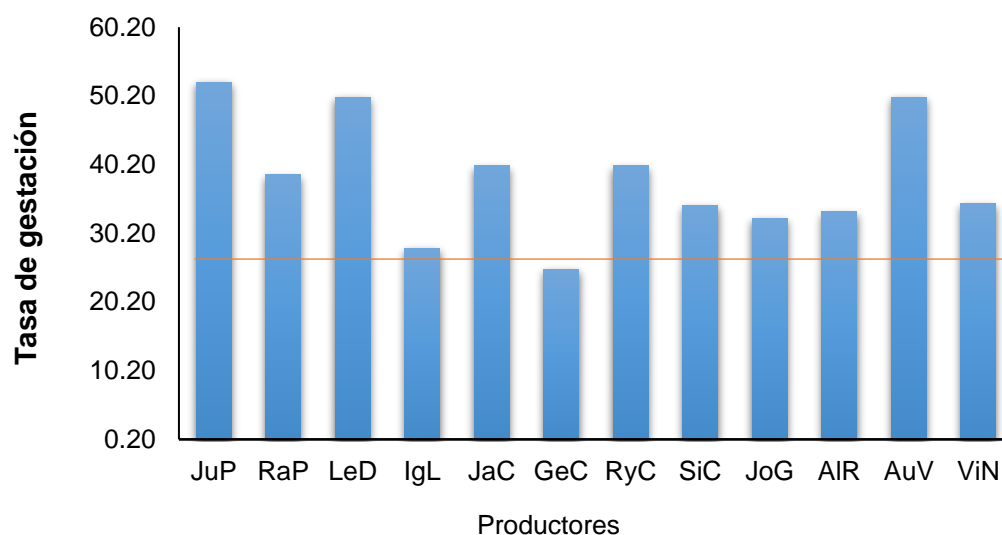


Figura 24. Porcentaje de gestación en fincas ganaderas estudiadas. La línea representa los valores hallados en otra investigación como referencia.

6.4.9. Buenas prácticas ganaderas

Las prácticas ganaderas en las unidades de producción en la mayoría de ellas son realizadas por el productor (Figura 25), pues más del 83% de las unidades productivas realizan las tecnologías evaluadas que contribuyen a la sustentabilidad. Lo anterior contrasta con lo reportado por Cuevas et al. (2016), quienes encontraron que existe un bajo nivel de uso y adopción de tecnologías por lo que consideran importante fomentar el uso de dichas tecnologías con modelos de extensión. En este mismo sentido Torres (2016), señala que las

tecnologías más comúnmente utilizadas fueron las concernientes al área de la alimentación y reproducción.

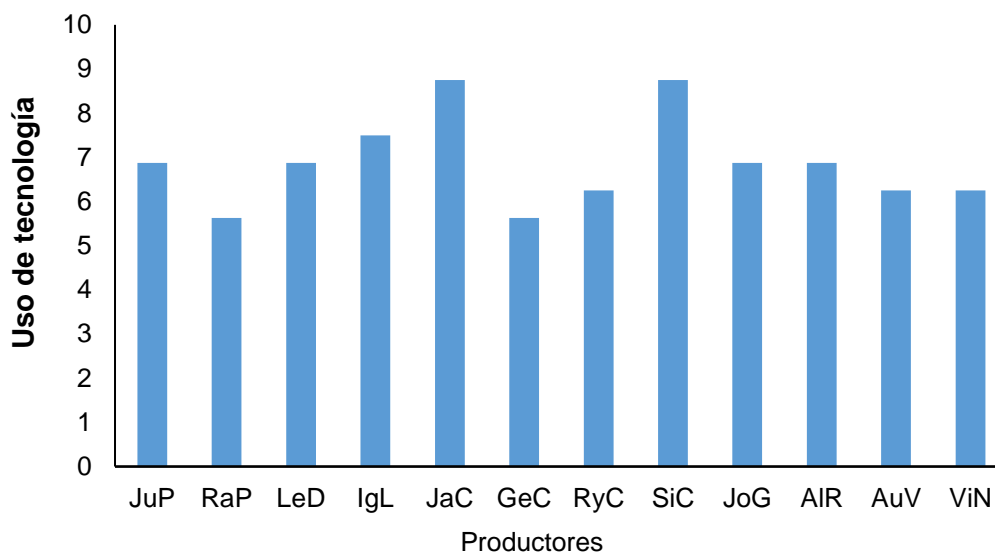


Figura 25. Valores de uso de tecnología en las unidades de producción.

6.4.10. Relación costo-beneficio

La relación costo-beneficio en la mayoría de las unidades de producción fue mayor al 1.0 (Figura 26). Valores parecidos fueron hallados por Estrada et al. (2017), quienes señalan una relación beneficio-costo de 1.28 en ganado bovino doble propósito en un sistema silvopastoril intensivo en Michoacán, México. Un proyecto productivo es aceptable o viable si esta relación es mayor o igual a uno, lo que quiere decir que se recuperan las inversiones (Agroproyectos, 2018). De acuerdo a Aguirre (1985) esta relación y la tasa interna de retorno están relacionadas con las condiciones tecnológicas y de mercado que parten del principio de optimización de los recursos.

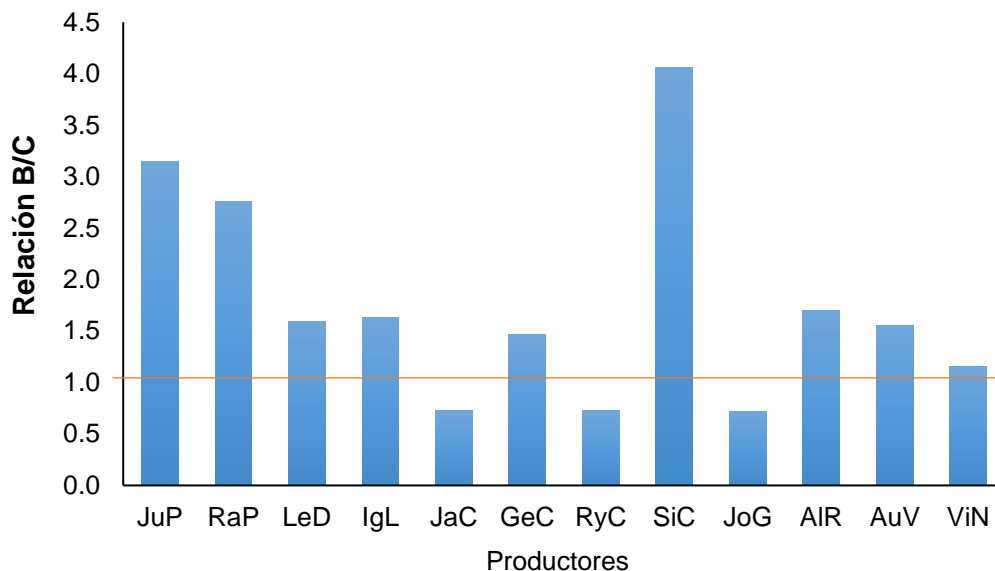


Figura 26. Relación beneficio-costo por unidad de producción bovino doble propósito. La línea representa los valores aceptados en proyectos productivos viables.

6.4.11. Costos de producción por litro de leche

Los costos de producción por litro de leche en las unidades de producción fluctuaron de 3.5 a 17 pesos por litro de leche producida (Figura 27). Lo cual es consistente con lo reportado por Estrada et al. (2018), quienes hallaron costos de producción de \$ 3.50 en ganado bovino doble propósito en el estado de Michoacán, México y por Espinosa et al. (2018) con costos de 3.50 y de 3.60. Costos de producción mayores son señalados por Sánchez-Medina et al. (2018), quienes reportan costos de \$5.05 en el estado de México. Otros estudios realizados por Espinosa et al. (2018) en el trópico mexicano, señalan que la producción de leche está relacionada con los componentes tecnológicos y su nivel productivo. Costos de producción superiores a \$4.50 que es el precio promedio en que se paga el litro de leche en la región, las granjas no están percibiendo ganancias que les permita generar ingresos para la familia y por el contrario se reportan pérdidas. Lo anterior, se acentúa con las importaciones de leche en polvo y derivados de la leche provocando cierre y quiebre de las unidades de producción (Espinoza-Arellano, 2019).

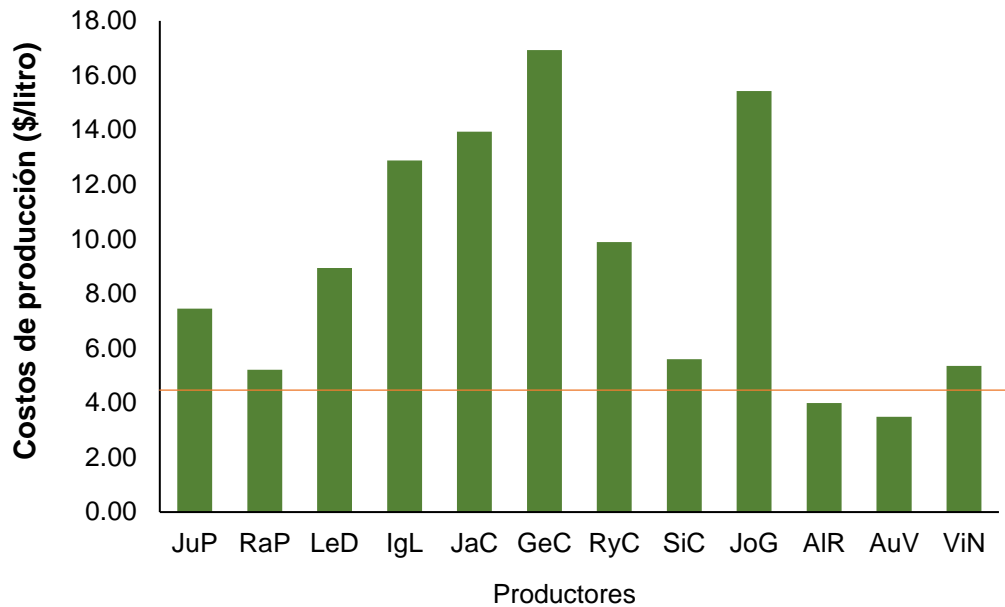


Figura 27. Costos de producción en unidades de producción bovinos doble propósito. La línea representa el precio de venta promedio en las localidades evaluadas.

6.4.12. Eficiencia de producción

La eficiencia de producción en las unidades de producción varió de 0.2 a 5.5; siendo ésta última la de mayor puntuación. La menor eficiencia (0.2) fue debido a que esta unidad presenta el mayor costo de producción por litro de leche producido y la menor producción de leche por hectárea en relación con las otras unidades de producción analizadas. Por el contrario, la unidad más eficiente presentó la mayor producción de leche por hectárea y el menor costo de producción. Los resultados muestran tres unidades de producción eficientes, cuatro unidades muy eficientes en lo productivo y el resto ineficientes de acuerdo a lo señalado por Francesc (2017). Al respecto, Vargas et al. (2015) señalan que los factores que determinan la eficiencia productiva son la alternativa productiva relacionada con la adopción de tecnologías, nivel de producción, relieve del terreno y las dimensiones del sistema que se está utilizando. De igual forma, el análisis de eficiencia de la empresa no está involucrado con la educación formal, sino con características como la innovación, organización, capacidad de liderar y la gestión de la empresa (Gallacher y Lema, 2018).

6.4.13. Eficiencia técnica

La eficiencia técnica fue determinada a partir de la leche producida (L/ha) al año. Los litros producidos necesarios para alcanzar el punto de equilibrio por unidad de producción se muestran en la Figura 28. Los resultados muestran que la mayoría de las unidades analizadas son ineficientes, pues operan por debajo de la producción de leche requerida, lo que sugiere sub-utilización de los recursos productivos. Al respecto, Enric-Francesc (2018) señala que si el resultado es menor a uno se considera ineficiente, si es igual a uno eficiente y si supera la unidad será muy eficiente. Autores como Ruiz (2017) encontraron en fincas ganadera colombianas que los litros necesarios para alcanzar su eficiencia son menores; las cuales fluctúan de 8,778 a 11,283 litros por hectárea anuales. Estudios realizados por Monroy et al. (2016) mencionan que los costos totales de una empresa son cubiertos cuando las ventas de leche alcanzan el 73%.

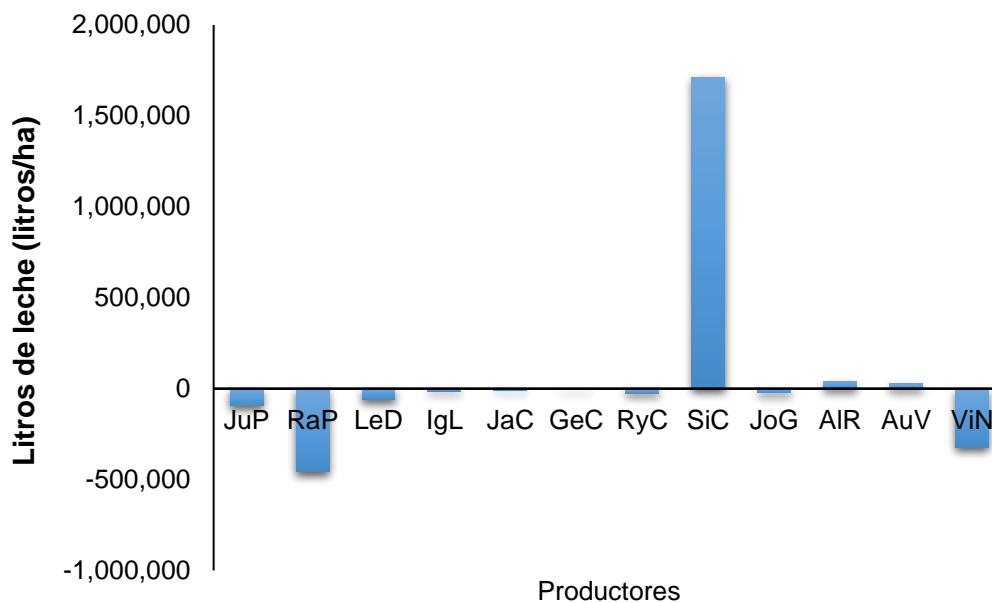


Figura 28. Eficiencia técnica en litros de leche para alcanzar su nivel óptimo.

6.4.14. Litros de leche producidos por hectárea

Los litros producidos por hectárea fueron desde medio litro a tres litros (Figura 29). Lo anterior contrasta con lo encontrado por Juárez-Barrientos et al. (2015), quienes señalan valores de 2.90 ± 2.49 litros por hectárea en Veracruz, México y con lo reportado por Rivera et al. (2015), quienes encontraron valores de 9.74 litros por hectárea en sistemas convencionales colombianos. Autores como Suárez et al. (2018), señalan que se pueden lograr producciones aceptables de leche y superiores al rango, cuando se hace un buen manejo y división de los pastizales.

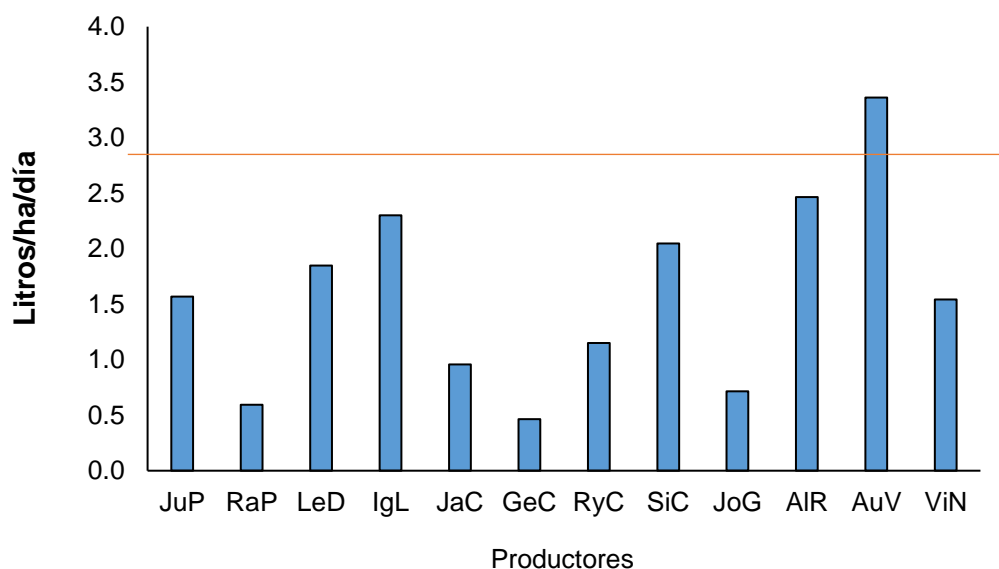


Figura 29. Litros producidos por hectárea por cada unidad de producción. La línea representa los litros de leche producidos en promedio en el estado de Veracruz en otras investigaciones.

6.5. Análisis de indicadores

Se realizó la correlación entre variables e indicadores para conocer si existía asociación entre las variables. Se encontró que la escolaridad tiene asociación con el consumo de proteína, lo cual formó parte del indicador de pobreza alimentaria en esta investigación. En este sentido, estudios realizados por Vega (2018) señalan que la escolaridad tiene influencia en el estado nutricional de las personas adultas. En cuanto a pobreza alimentaria, si bien se necesita un

análisis adicional, una afirmación informada es que las inversiones e ingresos a gran escala pueden mejorar el acceso a nutrientes alimenticios de alto valor en países en desarrollo (Enahoro et al., 2018). También se encontró que el consumo de proteína está influenciado por el indicador de producción (litros por hectárea), lo que sugiere que los productores consumen este producto por tener acceso a él, lo que mejora su alimentación. Así mismo, se encontró asociación entre las variables de ingresos familiares y la relación beneficio-costos; lo anterior, es de esperarse pues al ser mayores los ingresos existe mayor rentabilidad de las empresas, la cual asegura la permanencia de la empresa a mediano y largo plazo (Aguilera, 2018). También se encontró asociación de la escolaridad con la eficiencia productiva (Cuadro 14), lo cual confirma que la variable de escolaridad está asociada con la visión empresarial de la empresa y con la especialización del sistema de producción (Parra-Cortés y Magaña-Magaña, 2019). De igual forma, se observó una asociación negativa entre el balance de materia seca y la carga animal. Sin embargo, este resultado no es concluyente, debido a que los valores calculados fueron la subutilización y sobreutilización de las praderas con relación a la capacidad de carga.

6.6. Simplificación de variables

Al realizar el análisis de similaridad de Jaccard se obtuvo el Cuadro 15, con la finalidad de eliminar indicadores que compartan información similar; sin embargo, aunque el análisis mostró que los indicadores son similares, para estudios posteriores solo se considerará aquellos que pertenecen a la misma dimensión y muestran la misma información. Al respecto, autores como Montero (2016), señalan que el análisis de correlación es un buen análisis para la asociación de variables; sin embargo, no es suficiente para la comprensión de la relación entre las variables, pues esta relación queda a la interpretación del autor.

Se encontró que las variables de cantidad de nitrato, equidad, escolaridad y alfabetización fueron similares. Sin embargo, se decidió trabajar con cantidad de nitratos por proporcionar información de calidad de agua. En cuanto a las variables de escolaridad y alfabetización, se decidió eliminar esta última por ser de la misma dimensión y porque la primera es de uso cotidiano. De igual forma en esta figura se muestra que las variables Lts/ha y eficiencia

productiva son similares, por lo que se optó por esta última ya que engloba la variable de producción de leche (Figura 30). También se encontró que variables como consumo de proteína y de carbohidratos fueron iguales por lo que se decidió utilizar cantidad de kilocalorías por encontrarse datos que poseen información variada de las unidades de producción a diferencia de la variable de proteína que es uniforme de acuerdo a los datos obtenidos en las unidades de producción. Con las variables de erosión y porcentaje de la ganadería bovina, se eligió la primera debido a que la variable de erosión fue considerada dentro de las variables iniciales. La variable de porcentaje que representa la ganadería en los ingresos no fue considerada pues se escogió la variable de erosión al proporcionar información del recurso suelo. Así mismo las variables de riqueza e índice de Shannon-Wiener resultaron similares en el análisis y como son variables que proporcionan información parecida se eligió esta última.

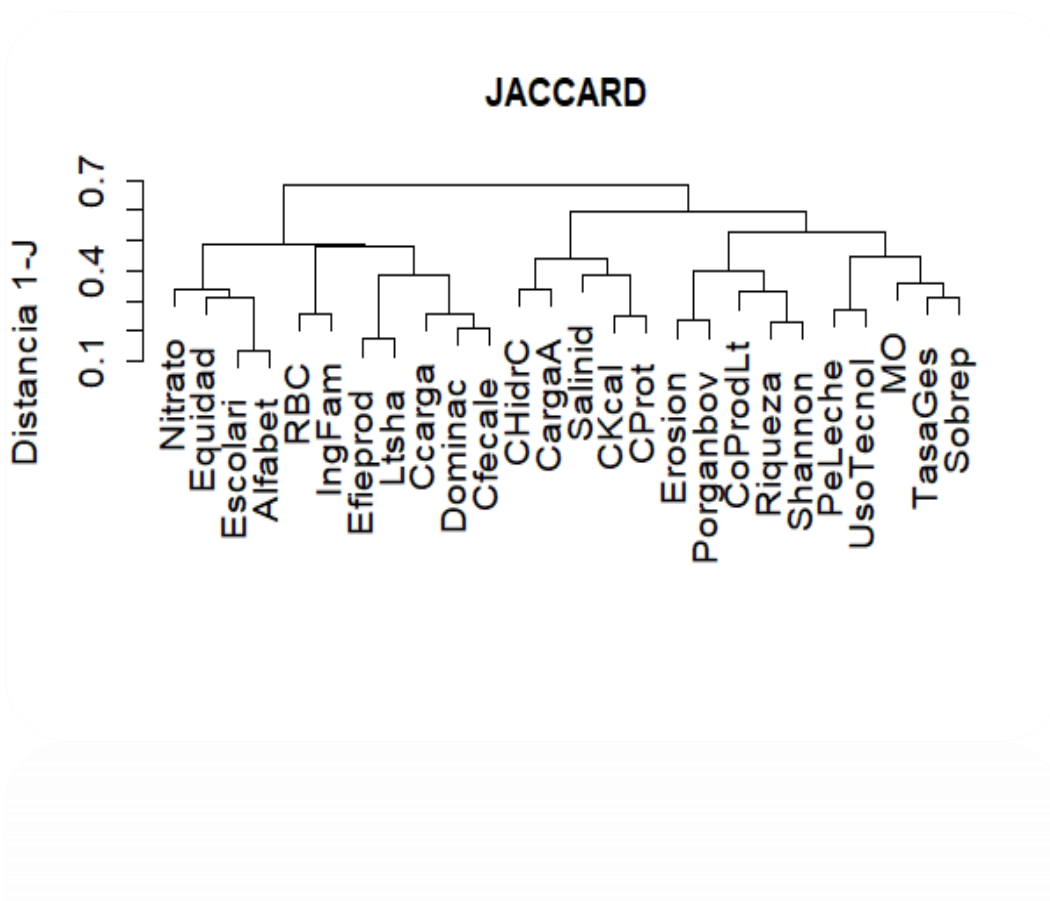


Figura 30. Árbol de variables según el índice de Similitud de Jaccard.

Cuadro 14. Correlación de Pearson de los indicadores y variables evaluadas en las unidades de producción.

	Riqueza	Shannon	Equidad	Dominac	Cfecale	Salinid	Nitrato	MO	Erosion	RBC	Efieprod	Escolari
Riqueza	1.000	0.852	-0.190	-0.634	-0.496	-0.043	-0.063	-0.188	0.221	-0.314	-0.550	-0.317
Shannon	0.852	1.000	0.295	-0.899	-0.308	0.023	0.125	-0.258	0.304	-0.200	-0.353	-0.046
Equidad	-0.190	0.295	1.000	-0.472	0.232	0.082	0.456	-0.057	-0.070	0.029	0.566	0.658
Dominac	-0.634	-0.899	-0.472	1.000	0.333	-0.159	-0.040	0.249	-0.301	0.203	0.173	0.054
Cfecale	-0.496	-0.308	0.232	0.333	1.000	-0.548	0.154	0.289	0.186	0.622	0.327	0.394
Salinid	-0.043	0.023	0.082	-0.159	-0.548	1.000	-0.373	-0.190	0.051	-0.240	0.139	-0.062
Nitrato	-0.063	0.125	0.456	-0.040	0.154	-0.373	1.000	-0.320	-0.463	-0.192	0.024	0.420
MO	-0.188	-0.258	-0.057	0.249	0.289	-0.190	-0.320	1.000	-0.028	0.505	0.101	-0.002
Erosion	0.221	0.304	-0.070	-0.301	0.186	0.051	-0.463	-0.028	1.000	0.568	-0.296	-0.479
RBC	-0.314	-0.200	0.029	0.203	0.622	-0.240	-0.192	0.505	0.568	1.000	0.001	-0.093
Efieprod	-0.550	-0.353	0.566	0.173	0.327	0.139	0.024	0.101	-0.296	0.001	1.000	0.714
Escolari	-0.317	-0.046	0.658	0.054	0.394	-0.062	0.420	-0.002	-0.479	-0.093	0.714	1.000
Alfabet	-0.384	-0.107	0.604	0.174	0.598	-0.186	0.400	0.216	-0.261	0.296	0.585	0.904
CHidrC	0.127	0.205	0.065	0.005	0.222	0.371	-0.120	-0.084	0.403	0.190	-0.010	0.153
CKcal	0.243	0.158	-0.007	0.166	0.074	0.087	0.082	0.191	-0.092	0.026	0.042	0.361
CProt	-0.415	-0.297	0.432	0.303	0.144	0.239	0.249	0.010	-0.556	-0.180	0.770	0.830
IngFam	-0.181	0.081	0.364	-0.191	0.499	-0.195	0.030	0.397	0.410	0.800	0.145	0.015
CoProdLt	0.705	0.642	-0.088	-0.562	-0.467	-0.063	-0.071	-0.020	0.009	-0.477	-0.548	-0.219
PeLeche	0.618	0.579	0.090	-0.666	-0.694	0.304	-0.057	-0.116	-0.039	-0.433	-0.143	-0.328
TasaGes	-0.567	-0.660	0.043	0.579	0.145	-0.030	0.021	0.454	-0.222	0.166	0.406	0.027
UsoTecnol	0.402	0.313	-0.040	-0.308	-0.286	-0.247	0.070	0.328	-0.009	0.216	-0.220	-0.298
Porganbov	0.132	-0.100	-0.656	0.076	-0.281	0.245	-0.795	0.033	0.550	0.206	-0.461	-0.680
CargaA	0.016	-0.077	-0.258	0.149	-0.115	0.273	-0.215	-0.331	0.012	0.037	0.122	0.110
Ccarga	-0.552	-0.631	-0.435	0.598	0.331	0.061	-0.173	-0.160	-0.012	0.169	-0.008	-0.083
Sobrep	-0.218	-0.139	0.136	0.045	0.249	-0.285	0.180	0.314	-0.017	0.018	-0.141	-0.155
Ltsha	-0.524	-0.430	0.347	0.361	0.252	-0.027	0.281	0.244	-0.481	0.186	0.692	0.582

	Alfabet	CHidrC	CKcal	CProt	IngFam	CoProdLt	PeLeche	TasaGes	UsoTecnol	Porganbov	CargaA	Ccarga	Sobrep	Ltsha
Riqueza	-0.384	0.127	0.243	-0.415	-0.181	0.705	0.618	-0.567	0.402	0.132	0.016	-0.552	-0.218	-0.524
Shannon	-0.107	0.205	0.158	-0.297	0.081	0.642	0.579	-0.660	0.313	-0.100	-0.077	-0.631	-0.139	-0.430
Equidad	0.604	0.065	-0.007	0.432	0.364	-0.088	0.090	0.043	-0.040	-0.656	-0.258	-0.435	0.136	0.347
Dominac	0.174	0.005	0.166	0.303	-0.191	-0.562	-0.666	0.579	-0.308	0.076	0.149	0.598	0.045	0.361
Cfecale	0.598	0.222	0.074	0.144	0.499	-0.467	-0.694	0.145	-0.286	-0.281	-0.115	0.331	0.249	0.252
Salinid	-0.186	0.371	0.087	0.239	-0.195	-0.063	0.304	-0.030	-0.247	0.245	0.273	0.061	-0.285	-0.027
Nitrato	0.400	-0.120	0.082	0.249	0.030	-0.071	-0.057	0.021	0.0709	-0.795	-0.215	-0.173	0.180	0.281
MO	0.216	-0.084	0.191	0.010	0.397	-0.020	-0.116	0.454	0.328	0.033	-0.331	-0.160	0.314	0.244
Erosion	-0.261	0.403	-0.092	-0.556	0.410	0.009	-0.039	-0.222	-0.009	0.550	0.012	-0.012	-0.017	-0.481
RBC	0.296	0.190	0.026	-0.180	0.800	-0.477	-0.433	0.166	0.216	0.206	0.037	0.169	0.018	0.186
Efieprod	0.585	-0.010	0.042	0.770	0.145	-0.548	-0.143	0.406	-0.220	-0.461	0.122	-0.008	-0.141	0.692
Escolari	0.904	0.153	0.361	0.830	0.015	-0.219	-0.328	0.027	-0.298	-0.680	0.110	-0.083	-0.155	0.582
Alfabet	1.000	0.268	0.463	0.719	0.280	-0.333	-0.526	0.107	-0.197	-0.592	0.079	-0.042	-0.105	0.605
CHidrC	0.268	1.000	0.673	0.208	0.024	-0.097	-0.239	-0.186	-0.485	-0.006	0.182	0.121	-0.161	-0.159
CKcal	0.463	0.673	1.000	0.512	-0.074	0.080	-0.225	-0.094	-0.108	-0.276	0.285	-0.073	-0.349	0.255
CProt	0.719	0.208	0.512	1.000	-0.094	-0.379	-0.284	0.214	-0.291	-0.576	0.352	0.094	-0.364	0.776
IngFam	0.280	0.024	-0.074	-0.094	1.000	-0.406	-0.040	-0.009	0.471	-0.160	0.037	-0.019	-0.049	0.368
CoProdLt	-0.333	-0.097	0.080	-0.379	-0.406	1.000	0.372	-0.457	0.099	0.154	-0.316	-0.461	0.191	-0.603
PeLeche	-0.526	-0.239	-0.225	-0.284	-0.040	0.372	1.000	-0.1325	0.558	-0.039	-0.167	-0.625	-0.036	-0.227
TasaGes	0.107	-0.186	-0.094	0.214	-0.009	-0.457	-0.132	1.000	-0.0125	-0.136	-0.455	-0.109	0.474	0.328
UsoTecnol	-0.197	-0.485	-0.108	-0.291	0.471	0.099	0.558	-0.012	1.000	-0.043	0.000	-0.483	-0.176	0.201
Porganbov	-0.592	-0.006	-0.276	-0.576	-0.160	0.154	-0.039	-0.136	-0.043	1.000	0.195	0.253	-0.129	-0.549
CargaA	0.079	0.182	0.285	0.352	0.037	-0.316	-0.167	-0.455	0.000	0.195	1.000	0.498	-0.949	0.374
Ccarga	-0.042	0.121	-0.073	0.094	-0.019	-0.461	-0.625	-0.109	-0.483	0.253	0.498	1.000	-0.200	0.145
Sobrep	-0.105	-0.161	-0.349	-0.364	-0.049	0.191	-0.036	0.474	-0.176	-0.129	-0.949	-0.200	1.000	-0.371
Ltsha	0.605	-0.159	0.255	0.776	0.368	-0.603	-0.227	0.328	0.201	-0.549	0.374	0.145	-0.371	1.000

Dónde: Shannon= Índice de Shannon-Wiener; Dominac= Dominancia; Cfecale= Coliformes fecales; Salinid= Salinidad; Nitrato= Nitratos; MO= Materia orgánica; RBC= Relación beneficio costo; Efieprod= Eficiencia productiva; CoProdLt= Costo de producción por litro; Escolari= Escolaridad; Alfabet= Alfabetización; CHidrC= Consumo hidratos de carbono; CKcal= Consumo kilocalorías; CProt= Consumo de proteína; IngFam= Ingresos familiares; Porganbov= Porcentaje ganadería bovina; PeLeche= Punto de equilibrio leche; TasaGes= Tasa de gestación; UsoTecnol= Uso de tecnología; CargaA= Carga animal, Ccarga= Capacidad de carga, Sobrep= Sobrepastoreo; Ltsha= Litros por hectárea.

Cuadro 15. Índice de similitud de Jaccard de los indicadores y variables evaluadas en las unidades de producción.

	Riqueza	Shannon	Equidad	Dominac	Cfecale	Salinid	Nitrato	MO	Erosion	RBC	Efieprod	Escolari	Alfabet
Riqueza	1.0000	0.8652	0.4227	0.3493	0.4057	0.3658	0.4948	0.3820	0.5247	0.2934	0.1447	0.3188	0.4002
Shannon	0.8652	1.0000	0.5920	0.3187	0.5125	0.3750	0.5967	0.3456	0.5399	0.3251	0.1892	0.3927	0.4946
Equidad	0.4227	0.5920	1.0000	0.3946	0.5840	0.4265	0.6825	0.4413	0.4111	0.4298	0.5712	0.7531	0.7807
Dominac	0.3493	0.3187	0.3946	1.0000	0.7388	0.3528	0.5859	0.5478	0.3682	0.4986	0.3609	0.4671	0.6374
Cfecale	0.4057	0.5125	0.5840	0.7388	1.0000	0.2591	0.6681	0.5164	0.5037	0.5920	0.3582	0.5309	0.7482
Salinid	0.3658	0.3750	0.4265	0.3528	0.2591	1.0000	0.2740	0.2974	0.3708	0.2379	0.3399	0.3313	0.3467
Nitrato	0.4948	0.5967	0.6825	0.5859	0.6681	0.2740	1.0000	0.3584	0.3027	0.3538	0.3092	0.5839	0.7024
MO	0.3820	0.3456	0.4413	0.5478	0.5164	0.2974	0.3584	1.0000	0.3973	0.6443	0.3719	0.4229	0.5656
Erosion	0.5247	0.5399	0.4111	0.3682	0.5037	0.3708	0.3027	0.3973	1.0000	0.6658	0.1862	0.2176	0.3741
RBC	0.2934	0.3251	0.4298	0.4986	0.5920	0.2379	0.3538	0.6443	0.6658	1.0000	0.2933	0.3415	0.5578
Efieprod	0.1447	0.1892	0.5712	0.3609	0.3582	0.3399	0.3092	0.3719	0.1862	0.2933	1.0000	0.7004	0.5581
Escolari	0.3188	0.3927	0.7531	0.4671	0.5309	0.3313	0.5839	0.4229	0.2176	0.3415	0.7004	1.0000	0.8795
Alfabet	0.4002	0.4946	0.7807	0.6374	0.7482	0.3467	0.7024	0.5656	0.3741	0.5578	0.5581	0.8795	1.0000
CHidrC	0.5294	0.5568	0.5101	0.5274	0.5845	0.5477	0.4676	0.4129	0.6090	0.4839	0.3080	0.4883	0.6220
CKcal	0.5260	0.4531	0.4383	0.4945	0.4362	0.3965	0.4536	0.5081	0.3539	0.3915	0.3376	0.5755	0.6443
CProt	0.2981	0.3262	0.6410	0.5600	0.4740	0.4759	0.5289	0.4375	0.2036	0.3160	0.7394	0.8689	0.7846
IngFam	0.2306	0.2863	0.4514	0.2406	0.3776	0.1782	0.2891	0.4907	0.4627	0.7348	0.3195	0.2991	0.4097
CoProdLt	0.8012	0.7536	0.4305	0.3408	0.3912	0.3354	0.4707	0.4129	0.4107	0.2149	0.1230	0.3236	0.3858
PeLeche	0.7046	0.6304	0.4492	0.2372	0.2521	0.4815	0.3948	0.3418	0.3480	0.1848	0.2273	0.2455	0.2628
TasaGes	0.3282	0.3306	0.5240	0.7956	0.6363	0.3779	0.5682	0.6235	0.3662	0.4767	0.4434	0.4444	0.5893
UsoTecnol	0.6411	0.5899	0.4543	0.4128	0.4315	0.2725	0.5191	0.5687	0.4084	0.4847	0.2259	0.3040	0.4338
Porganbov	0.5730	0.5716	0.3719	0.6674	0.6319	0.4591	0.4284	0.4595	0.6247	0.4738	0.2046	0.2844	0.4424
CargaA	0.4016	0.3439	0.3147	0.4535	0.3574	0.4657	0.3286	0.2698	0.3679	0.3701	0.3563	0.4271	0.4543
Ccarga	0.4238	0.4529	0.4502	0.8442	0.7925	0.4331	0.5994	0.4447	0.4797	0.4910	0.3146	0.4438	0.6031
Sobrep	0.4824	0.5743	0.5566	0.6664	0.7830	0.3246	0.6833	0.5138	0.4494	0.4175	0.2613	0.3955	0.5582
Ltsha	0.3034	0.3392	0.6336	0.6486	0.5810	0.3725	0.6051	0.5525	0.2576	0.4878	0.6364	0.7051	0.7737

	CHidrC	CKcal	CProt	IngFam	CoProdLt	PeLeche	TasaGes	UsoTecnol	Porganbov	CargaA	Ccarga	Sobrep	Ltsha
Riqueza	0.5294	0.5260	0.2981	0.2306	0.8012	0.7046	0.3282	0.6411	0.5730	0.4016	0.4238	0.4824	0.3034
Shannon	0.5568	0.4531	0.3262	0.2863	0.7536	0.6304	0.3306	0.5899	0.5716	0.3439	0.4529	0.5743	0.3392
Equidad	0.5101	0.4383	0.6410	0.4514	0.4305	0.4492	0.5240	0.4543	0.3719	0.3147	0.4502	0.5566	0.6336
Dominac	0.5274	0.4945	0.5600	0.2406	0.3408	0.2372	0.7956	0.4128	0.6674	0.4535	0.8442	0.6664	0.6486
Cfecale	0.5845	0.4362	0.4740	0.3776	0.3912	0.2521	0.6363	0.4315	0.6319	0.3574	0.7925	0.7830	0.5810
Salinid	0.5477	0.3965	0.4759	0.1782	0.3354	0.4815	0.3779	0.2725	0.4591	0.4657	0.4331	0.3246	0.3725
Nitrato	0.4676	0.4536	0.5289	0.2891	0.4707	0.3948	0.5682	0.5191	0.4284	0.3286	0.5994	0.6833	0.6051
MO	0.4129	0.5081	0.4375	0.4907	0.4129	0.3418	0.6235	0.5687	0.4595	0.2698	0.4447	0.5138	0.5525
Erosion	0.6090	0.3539	0.2036	0.4627	0.4107	0.3480	0.3662	0.4084	0.6247	0.3679	0.4797	0.4494	0.2576
RBC	0.4839	0.3915	0.3160	0.7348	0.2149	0.1848	0.4767	0.4847	0.4738	0.3701	0.4910	0.4175	0.4878
Efieprod	0.3080	0.3376	0.7394	0.3195	0.1230	0.2273	0.4434	0.2259	0.2046	0.3563	0.3146	0.2613	0.6364
Escolari	0.4883	0.5755	0.8689	0.2991	0.3236	0.2455	0.4444	0.3040	0.2844	0.4271	0.4438	0.3955	0.7051
Alfabet	0.6220	0.6443	0.7846	0.4097	0.3858	0.2628	0.5893	0.4338	0.4424	0.4543	0.6031	0.5582	0.7737
CHidrC	1.0000	0.7373	0.5207	0.2981	0.4167	0.3078	0.4360	0.2887	0.5243	0.4655	0.5882	0.4863	0.4151
CKcal	0.7373	1.0000	0.6647	0.2659	0.4314	0.2829	0.3977	0.3686	0.3619	0.5139	0.4375	0.3485	0.5373
CProt	0.5207	0.6647	1.0000	0.2604	0.2806	0.2701	0.5220	0.3162	0.3161	0.5531	0.4993	0.3639	0.8254
IngFam	0.2981	0.2659	0.2604	1.0000	0.1415	0.2480	0.2816	0.4797	0.2397	0.2957	0.2892	0.2569	0.4491
CoProdLt	0.4167	0.4314	0.2806	0.1415	1.0000	0.5516	0.3331	0.4821	0.5653	0.2577	0.4198	0.5720	0.2511
PeLeche	0.3078	0.2829	0.2701	0.2480	0.5516	1.0000	0.3653	0.6626	0.4087	0.2775	0.2933	0.4064	0.3160
TasaGes	0.4360	0.3977	0.5220	0.2816	0.3331	0.3653	1.0000	0.4816	0.5600	0.2559	0.5905	0.7358	0.6250
UsoTecnol	0.2887	0.3686	0.3162	0.4797	0.4821	0.6626	0.4816	1.0000	0.5001	0.3786	0.4126	0.4682	0.5429
Porganbov	0.5243	0.3619	0.3161	0.2397	0.5653	0.4087	0.5600	0.5001	1.0000	0.4377	0.7742	0.6903	0.3826
CargaA	0.4655	0.5139	0.5531	0.2957	0.2577	0.2775	0.2559	0.3786	0.4377	1.0000	0.5502	0.2096	0.5630
Ccarga	0.5882	0.4375	0.4993	0.2892	0.4198	0.2933	0.5905	0.4126	0.7742	0.5502	1.0000	0.6814	0.5868
Sobrep	0.4863	0.3485	0.3639	0.2569	0.5720	0.4064	0.7358	0.4682	0.6903	0.2096	0.6814	1.0000	0.4306
Ltsha	0.4151	0.5373	0.8254	0.4491	0.2511	0.3160	0.6250	0.5429	0.3826	0.5630	0.5868	0.4306	1.0000

Dónde: Shannon= Índice de Shannon-Wiener; Dominac= Dominancia; Cfecale= Coliformes fecales; Salinid= Salinidad; Nitrato = Nitratos; MO= Materia orgánica; RBC= Relación beneficio costo; Efieprod= Eficiencia productiva; CoProdLt= Costo de producción por litro; Escolari= Escolaridad; Alfabet= Alfabetización; CHidrC= Consumo hidratos de carbono; CKcal= Consumo kilocalorías; CProt= Consumo de proteína; IngFam= Ingresos familiares; Porganbov= Porcentaje

ganadería bovina; PeLeche= Punto de equilibrio leche; TasaGes= Tasa de gestación; UsoTecnol= Uso de tecnología; CargaA= Carga animal, Ccarga= Capacidad de carga, Sobrep= Sobrepastoreo; Ltsha= Litros por hectárea.

7. CONCLUSIONES

Con la hipótesis específica:

- a) La selección de indicadores de sustentabilidad por grupo, permite conocer los intereses de cada uno de ellos y llegar a un consenso para la elección de los más pertinentes para ser determinados en el sistema bovinos doble propósito;

La hipótesis específica inciso a no se rechaza debido que, aunque se encontró diferentes intereses por grupo al considerar que los indicadores relacionados con la producción son los más importantes y los de menor interés los relacionados con el recurso suelo para los productores, se pudo consensar ambos resultados y obtener los indicadores más pertinentes al sistema de producción.

- b) Existe una degradación de los recursos naturales de la zona, evidenciada por la erosión del suelo y contaminación del agua que conducen a una pérdida de la biodiversidad natural.

La hipótesis anterior no se rechaza, debido a que los datos muestran que existe erosión y aunque esta es ligera, este indicador contribuye a la no sustentabilidad del sistema de producción; de igual forma se evidencia la presencia de coliformes totales y fecales por arriba de los parámetros sugeridos por lo que nuestra información sugiere contaminación de agua de ríos y pozos.

La siguiente hipótesis específica fue:

- c) Los altos costos de producción originados por altos costos de insumos y de los medios de producción, aunados a los bajos ingresos derivados por el bajo nivel de producción y bajos precios de los productos (carne y leche) nos conducen a una baja eficiencia productiva y económica;

La hipótesis anterior se rechaza parcialmente porque los altos costos de producción son originados por la compra de insumos, renta de terrenos para la producción y los pocos ingresos de los productores, los cuales originan una baja eficiencia económica evidenciada con el indicador relación beneficio-coste. Sin embargo, los resultados no muestran relación entre el indicador “litros producidos por hectárea” y la eficiencia productiva por lo que no se puede concluir que éste indicador por sí sólo cause la baja eficiencia productiva.

- d) Los productores con educación formal no concluida, que no saben leer ni escribir y con bajos ingresos económicos se encuentran en pobreza alimentaria.

La hipótesis anterior se rechaza, dado que nuestros resultados muestran asociación entre las variables de escolaridad con la cantidad de proteína consumida en los hogares de las unidades de producción, pero no para los consumos de hidratos de carbono y kilocalorías. De igual forma no se encontró relación entre los indicadores de ingresos familiares con el de pobreza alimentaria.

- e) Las deficientes prácticas de manejo ambiental, de control de enfermedades y parásitos, de manejo de praderas, forrajes y de alimentación influyen negativamente en el sistema de producción en los parámetros reproductivos; así como a la limitada eficiencia técnica de la unidad de producción.

La hipótesis anterior se rechaza debido a que nuestra investigación revela que las prácticas son realizadas con regularidad en las unidades productivas y no parecen influir en los sistemas de producción analizados. Sin embargo, se encontró relación moderada en el uso de tecnologías con la eficiencia técnica y punto de equilibrio.

El uso de indicadores económicos, ambientales, sociales y tecnológicos permiten evaluar al sistema de producción bovinos doble propósito desde las acciones realizadas por el productor como tomador de decisiones, pues como se evidencia en la presente investigación se encontró erosión del suelo, contaminación de las afluentes de agua, poca diversidad de especies vegetales y en su mayoría arvenses, escasa eficiencia productiva, económica y técnica.

Sin embargo, la producción de leche es de importancia para la familia, pues es una fuente de proteína de fácil acceso. Por lo anterior, las acciones destinadas a la ganadería de las unidades estudiadas deben de estar encaminadas a realizar acciones de mejora en la gestión y uso de los recursos naturales, recursos productivos y económicos; así como en la implementación de políticas públicas que permitan a los productores vender sus productos a mejor costo e incrementar los niveles de escolaridad en el medio rural.

8. LITERATURA CITADA

- Aguilera, D. A. (2018). El costo-beneficio como herramienta de decisión en la inversión en actividades científicas. Cost-benefits as a Decision Tool for the Investment in Scientific Activities. *Revista Cubana de Contabilidad y Finanzas. COFIN HABANA* **11**, 322-343.
- Agol, D., Latawiec, A. E., y Strassburg, B. B. (2014). Evaluating impacts of development and conservation projects using sustainability indicators: Opportunities and challenges. *Environmental Impact Assessment Review* **48**, 1-9.
- Agroproyectos (2018). ¿Que es relación beneficio costo (R B/C)?, Vol. 2018. Agroproyectos, S.C.
- Aguirre, J. A. (1985). "Introducción a la evaluación económica y financiera de inversiones agropecuarias," IICA Biblioteca Venezuela, San José Costa Rica.
- Alatorre-Hernández, A., Guerrero-Rodríguez, J. d. D., Olvera-Hernández, J. I., Aceves-Ruíz, E., Vaquera-Huerta, H., y Vargas-López, S. (2018). Productividad, características fisicoquímicas y digestibilidad in vitro de leguminosas forrajeras en trópico seco de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* **9**, 296-315.
- Alemán, F., y Sánchez, A. (2015). Estado actual de ciencia de las arvenses en Nicaragua. *La Calera* **15**, 70-76.
- Altieri, M. A., Hecht, S., Liebman, M., Magdoff, F., Norgaard, R., y Sikor, T. O. (1999). "Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable," Nordan-Comunidad.
- Álvarez-Lopezello, J., Rivas-Manzano, I. V., Aguilera-Gómez, L. I., y González-Ledesma, M. (2016). Diversidad y estructura de un pastizal en El Cerrillo, Piedras Blancas, Estado de México, México. *Revista mexicana de biodiversidad* **87**, 980-989.
- Arroyo, G. (1989). "La pérdida de la autosuficiencia alimentaria y el auge de la ganadería en México," Plaza y Valdés, México, D.F.
- Avendaño, R. S., y Acosta, R. I. (2000). Plantas utilizadas como cercas vivas en el estado de Veracruz. *Madera y Bosques* **6**, 55-71.
- Ayala-Ortiz, D. A., y García-Barrios, R. (2009). Contribuciones metodológicas para valorar la multifuncionalidad de la agricultura campesina en la Meseta Purépecha. *Economía, Sociedad y Territorio* **9**, 759-801.
- Bacab-Pérez, H. M., y Solorio-Sánchez, F. J. (2011). Oferta y consumo de forraje y producción de leche en ganado de doble propósito manejado en sistemas

silvopastoriles en Tepalcatepec, Michoacán. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* **13**, 271-278 .

- Baraza, R. E., y Estrella-Ruiz, J. (2008). Manejo sustentable de los recursos naturales guiado por proyectos científicos en la mixteca poblana mexicana. *Revista Ecosistemas* **17**, 3-9.
- Bates, S., and Saint-Pierre, P. (2018). Adaptive policy framework through the lens of the viability theory: A theoretical contribution to sustainability in the Anthropocene Era. *Ecological Economics* **145**, 244-262.
- Bátiz, M. L. G., Payan, L. F., y Sahagún, B. A. V. (2016). Análisis del desarrollo sostenible en espacios locales. Aplicación de la teoría de conjuntos difusos. *Íconos: Revista de Ciencias Sociales* **54**, 171-195.
- Bautista, C. A., Etchevers, B. J., del Castillo, R. F., y Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Revista Ecosistemas* **13**, 90-97.
- Bautista-Martínez, Y., Herrera-Haro, J., Espinosa-García, J., Martínez-Castañeda, F., Vaquera-Huerta, H., Morales, A., Aguirre-Guzmán, G. (2019). Caracterización económico-productiva del sistema bovino doble propósito en tres regiones tropicales de México. *Información Técnica Económica Agraria* **115**: 134-148.
- Bavera, G. A. (2009). Tenores máximos de sales totales. *In: Aguas y aguadas para el ganado*, Vol. 2019. Sitio argentino de producción animal, Argentina.
- Becerra, M. A. (1998). Conservación de suelos y desarrollo sustentable, ¿Utopía o posibilidad en México? *Terra Latinoamericana* **16**, 8.
- Bélangier, V., Vanasse, A., Parent, D., Allard, G., and Pellerin, D. (2012). Development of agri-environmental indicators to assess dairy farm sustainability in Quebec, Eastern Canada. *Ecological Indicators* **23**, 421-430. DOI: 10.1016/j.ecolind.2012.04.027.
- Belohlavek, P. (2005). "Blue Book: metodología unicista de investigación y diagnóstico de sistemas complejos," Blue Eagle Group.
- Bell, S., and Morse, S. (2008). "Sustainability Indicators. Measuring the immeasurable?," London Sterling VA.
- Berre, D., Blancard, S., Boussemart, J.-P., Leleu, H., and Tillard, E. (2014). Finding the right compromise between productivity and environmental efficiency on high input tropical dairy farms: A case study. *Journal of Environmental Management* **146**, 235-244.
- Blancas, P. F. J., González, L. M., Guerrero, C. F. M., y Lozano-Oyola, M. (2010). Indicadores sintéticos de turismo sostenible: una aplicación para los destinos

turísticos de Andalucía. *Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA*, 85-118.

- Blanco, V. Y. (2016). El rol de las arvenses como componente en la biodiversidad de los agroecosistemas. *Cultivos Tropicales* **37**, 34-56.
- Blandi, M. L., et al. (2015). Evaluación de la sustentabilidad de la incorporación del cultivo bajo cubierta en la horticultura platense. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata* **114**(2): 251-264.
- Blomstrom, M., y Bjorn, H. (1990). La teoría del desarrollo económico en transición, 1/Ed. Fondo de Cultura Económica, México, D.F.
- Bodini, A., Bondavalli, C., and Allesina, S. (2012). Cities as ecosystems: Growth, development and implications for sustainability. *Ecological Modelling* **245**, 185-198. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2012.02.022.
- Boisier, S. (2016). “Desarrollo (Local); ¿De qué estamos hablando?,” Publicaciones de la universidad de Valencia, Brasil.
- Bolet, A. M., y Socarrás, S. M. M. (2009). La alimentación y nutrición de las personas mayores de 60 años. *Revista Habanera de Ciencias Médicas* **8**, 1-9.
- Bone, C. (2016). A complex adaptive systems perspective of forest policy in China. *Technological Forecasting and Social Change* **112**, 138-144.
- Bonil, J., Junyent, M., y Pujol, R. M. (2010). [3] Educación para la Sostenibilidad desde la perspectiva de la complejidad. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* **7**, 198-215.
- Briquel, V., Vilain, L., Bourdais, J.-L., Girardin, P., Mouchet, C., and Viaux, Philippe (2001). La méthode IDEA (indicateurs de durabilité des exploitations agricoles): une démarche pédagogique. (I. E A T, ed.).
- Cantú, S. I., Díaz, G. K. E., Yáñez, D. M. I., González, R. H., y Martínez, S. R. A. (2018). Caracterización fisicoquímica de un Calcisol bajo diferentes sistemas de uso de suelo en el noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* **9**, 59-86.
- Carbajal, A. A. (2013). Manual de nutrición y dietética. Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.
- Carrizosa, U. J. (2006). Desequilibrios territoriales y sostenibilidad local: conceptos, metodologías y realidades, 1/Ed. Univ. Nacional de Colombia.
- Castelán, V. R., Tamaríz, F. V., Jesús, R. C., y Gladys, L. F. (2014). Evaluación de la sustentabilidad de la actividad agrícola de tres localidades campesinas en Pahuatlán, Puebla. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* **1**, 219-231.

- Cirelli, A. F., Schenone, N., Carrera, A. L. P., y Volpedo, A. V. (2009). Calidad de agua para la producción de especies animales tradicionales y no tradicionales en Argentina. *AUGMDomus* **1**, 45-66.
- COMECARNE (2018). Compendio estadístico 2018. Vol. 2018. COMECARNE, México, D.F.
- CONAGUA, S. (2014). Estadísticas del agua en México. Comisión Nacional del Agua México, México, D.F.
- Corballis, M. C. (2007). Pensamiento recursivo. *Mente y cerebro* **27**: 78-87.
- Cortés-Lara, M. d. C. (2003). Importancia de los coliformes fecales como indicadores de contaminación en la Franja Litoral de Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit. *Revista Biomédica* **14**, 121-123.
- COTECOCA (2014). Superficie ganadera. Vol. 2014. COTECOCA, México, Mex., de https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2016/archivos/02_agrigan/D2_AGRIGAN04_02.pdf.
- Crespo, L. G. J. (2018). ¿Cómo incrementar la materia orgánica del suelo en la actividad ganadera del trópico? *Avances en Investigación Agropecuaria* **22**, 37-44.
- Cruz, B. P., Martínez, D. J. P., Osorio, A. F., López, R. G., Estrella, C. N., y Regalado, L. J. (2017). Marco epistémico para estudiar los agroecosistemas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* **8**, 159-170.
- CTEE (2009). Diagnóstico del sector primario en Veracruz. Realidad, retos y Evaluación, Veracruz, México.
- Cuervo, T. J., y Albeiro, O., Jair (2013). Costeo basado en actividades ABC: gestión basada en actividades ABM, 2a/Ed. Ecoe Ediciones, Bogota.
- Cuevas, R. V., Loaiza, M. A., Espinosa, G. J. A., Vélez, I. A., y Montoya, F. M. D. (2016). Tipología de las explotaciones ganaderas de bovinos doble propósito en Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* **7**, 69-83.
- Chong, Y. T., Meng, T. K., and Ching, T. L. (2016). A Lifecycle-based sustainability indicator framework for waste-to-energy systems and a proposed metric of sustainability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **56**, 797-809. DOI: 10.1016/j.rser.2015.11.036.
- Dávila-Torres, J., González-Izquierdo, J. d. J., y Barrera-Cruz, A. (2015). Obesity in Mexico. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social* **53**, 240-249.

- de Souza, R. G., Clímaco, J. C. N., Sant'Anna, A. P., Rocha, T. B., do Valle, R. d. A. B., and Quelhas, O. L. G. (2016). Sustainability assessment and prioritisation of e-waste management options in Brazil. *Waste Management* **57**, 46-56.
- Delgado, M. I. (2018). Soil loss as a result of the interactions between natural landscape attributes and human activities in Ventania, Argentina. *Ecología Austral* **28**, 074-080.
- Díaz-González, E., y Turner-Barragán, E. (2012). Pobreza y política social en México y estados de la frontera norte. *Análisis Económico* **27**, 23-46. DOI: 10.11144/Javeriana.cdr13-78.pcpd.
- Díaz-Rivera, P., Oros-Noyola, V., Vilaboa-Arroniz, J., Martínez-Dávila, J. P., y Torres-Hernández, G. (2011). Dinámica del desarrollo de la ganadería doble propósito en las Choapas, Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* **14**, 191-199.
- DOF (2002). Norma Oficial Mexicana NOM 021-SEMARNAT-2000. Vol. 2016. Diario Oficial de la Federación, México, D.F.
- Dohnal, M., and Kocmanova, A. (2016). Qualitative models of complex sustainability systems using integrations of equations and equationless knowledge items generated by several experts. *Ecological indicators* **62**, 201-211. DOI: 10.1016/j.ecolind.2015.10.030.
- Dong, F., Mitchell, P. D., and Colquhoun, J. (2015). Measuring farm sustainability using data envelope analysis with principal components: The case of Wisconsin cranberry. *Journal of Environmental Management* **147**, 175-183. DOI: 10.1016/j.jenvman.2014.08.025.
- Durán, Z. V. H., Rodríguez, P. C. R., Cuadros Tavira, S., y Francia Martínez, J. R. (2014). Impacto de la erosión y escorrentía en laderas de agroecosistemas de montaña mediterránea.
- EAE Business, S. (2017). Eficiencia productiva ¿Qué es? y ¿Cómo se calcula? , Vol. 2018. España. Revisado el 01 de diciembre, 2018, de: <https://retos-directivos.eae.es/eficiencia-productiva-que-es-y-como-se-calcula/>.
- Elliott, E. T., and Cole, C. V. (1989). A perspective on agroecosystem science. *Ecology* **70**, 1597-1602.
- Enahoro, D., Lannerstad, M., Pfeifer, C., and Dominguez-Salas, P. (2018). Contributions of livestock-derived foods to nutrient supply under changing demand in low-and middle-income countries. *Global Food Security* **19**, 1-10. DOI: 10.1016/j.gfs.2018.08.002.
- Enric-Francesc, O. (2018). ¿Cómo se calcula la efectividad, eficacia y eficiencia de una empresa? , Vol. 2018. Grupo P&A.

- Escribano, M., Díaz-Caro, C., and Mesias, F. J. (2018). A participative approach to develop sustainability indicators for dehesa agroforestry farms. *Science of The Total Environment* **640-641**, 89-97.
- Espinoza-Arellano, J., Fabela-Hernández, A., López-Chavarría, S., y Martínez-Gómez, F. (2019). Impacto de las importaciones de leche en polvo y derivados lácteos en el precio al productor de leche de bovino en México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* **16**, 123-139.
- Espinosa, G. J. A., Velez, I. A., Góngora, G. S. F., Venancio, C. R., Vázquez, G. R., y Rivera, M. J. A. (2018). Evaluación del impacto en la productividad y rentabilidad de la tecnología transferida al sistema de bovinos de doble propósito del trópico mexicano. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* **21**, 261-272.
- Estrada, L. I., Albarrán, P. B., Yong, Á. G., y García, M. A. (2017). Evaluación financiera de una unidad de producción de bovinos doble propósito bajo silvopastoreo intensivo en Apatzingán, Michoacán, México. 857-862.
- Estrada, L. I., Espaza, J. S., Albarrán, P. B., Yong Ángel, G., Rayas Amor, A. A., y Garcia, M. A. (2018). Evaluación productiva y económica de un sistema silvopastoril intensivo en bovinos doble propósito en Michoacán, México. *CIENCIA ergo-sum* **25**, 13.
- FAO (1980). Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos, Roma, Italia.
- FAO (1999). Análisis del carácter multifuncional de la agricultura y la tierra. Documento preparado para la conferencia FAO/Países Bajos sobre el carácter multifuncional de la agricultura y la tierra. pp. 54. FAO.
- FAO., FIDA (2012). El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo 2012: el crecimiento económico es necesario pero no suficiente para acelerar la reducción del hambre y la malnutrición. FAO Roma.
- FAOSTAT (2015). Top producción- Américas (Total)- 2012. De: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.
- Farrell, M. J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)* **120**, 253-290.
- Ferguson, B. G., Diemont, S. A., Alfaro-Arguello, R., Martin, J. F., Nahed-Toral, J., Álvarez-Solís, D., and Pinto-Ruíz, R. (2013). Sustainability of holistic and conventional cattle ranching in the seasonally dry tropics of Chiapas, Mexico. *Agricultural Systems* **120**, 38-48. DOI: 10.1016/j.agsy.2013.05.005.

- Fernández, R. J., Pizarro, C. A., y Plencovich, M. C. (2017). Sustentabilidad de los sistemas de producción agropecuaria: agenda y propuestas surgidas de un taller participativo. *Agronomía & Ambiente* **37**, 139-167.
- Figueroa, S. B., Amante, OA. Cortés, HG., Pimentel, J., Osuna, CES., Rodríguez, JM., Morales, FFJ. (1991). Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión. CP-SARH. México. pp 150. Colegio de Postgraduados.
- Flores, C. L. A. (2013). Producción de Maiz (*Zea Mays L.*) en el Estado de Puebla: un enfoque de equilibrio espacial para identificar las zonas productoras más competitivas, Colegio de Postgraduados, México.
- Flores , M. S. J. (2019). Relevamiento de flora del área protegida Bosque de Bologna para la obtención de un índice de diversidad Shannon Wiener a través de una aplicación móvil. *Fides et Ratio-Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia* **17**(17): 215-238.
- Foster, G. R., Meyer, L. D., Onstad, C. A. (1977). A runoff erosivity factor and variable slope length exponents for soil loss estimates. *Transactions of the ASAE* **20**(4): 683-0687.
- Francesc, O. E. (2017). ¿Cómo se calcula la efectividad, eficacia y eficiencia de una empresa? In "Indicadores de productividad" (G. P&A, ed.), Vol. 2019. Grupo P&A Consultoría y Formación, S.L., España.
- Freire, S. F., Branco, A. U. (2016). A Teoria do Self Dialógico em perspectiva. *Psicologia: Teoria e Pesquisa, Brasília* (1): 25-33. DOI: 10.1590/0102-37722016012226025033.
- Fuster, G. O., y Marín, M. G. (2007). Actualización en requerimientos nutricionales. *Endocrinología y Nutrición* **54**, 17-29.
- Gaitan, J. J., et al. (2017). "Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina," Buenos Aires, Ediciones INTA: 65.
- Galdeano-Gómez, E., Aznar-Sánchez, J. A., Pérez-Mesa, J. C., and Piedra-Muñoz, L. (2017). Exploring Synergies Among Agricultural Sustainability Dimensions: An Empirical Study on Farming System in Almería (Southeast Spain). *Ecological Economics* **140**, 99-109.
- Gallacher, M., y Lema, D. (2018). "Procesos decisorios y eficiencia productiva: ganadería argentina." Universidad del CEMA.
- Gallegos Rivero, A. R., and Daim, T. (2017). Technology roadmap: Cattle farming sustainability in Germany. *Journal of Cleaner Production* **142**, 4310-4326.
- Gaona-Pineda, E. B., Martínez-Tapia, B., Arango-Angarita, A., Valenzuela-Bravo, D., Gómez-Acosta, L. M., Shamah-Levy, T., y Rodríguez-Ramírez, S. (2018). Consumo

de grupos de alimentos y factores sociodemográficos en población mexicana. *Salud Pública de México* **60**, 272-282.

García-Martínez, A., Albarrán-Portillo, B., and Avilés-Nova, F. (2015). Dinámicas y tendencias de la ganadería doble propósito en el sur del Estado de México. *Agrociencia* **49**, 125-139.

García-Valdecasas, M. J. I. (2014). Explicación, mecanismo y simulación: otra manera de hacer sociología = Explanation, mechanism and simulation: another way of researching in sociology. *Empiria: Revista de Metodología de Ciencias Sociales* **28**, 35-58.

García, B. M. L., Flores, P. L., y Adriana, V. S. B. (2016). Análisis del desarrollo sostenible en espacios locales. Aplicación de la teoría de conjuntos difusos. *Íconos. Revista de Ciencias Sociales*, 173-197.

García, H. L. (2011). Teoría del desarrollo sostenible y legislación ambiental colombiana. Una reflexión cultural. *Revista de Derecho* **20**, 198-215.

García, P. A. (2005). "Muestreo y envío de muestras." UNAM, México, D.F.

García, R. (2006). *Sistemas Complejos. Conceptos Método y Fundamentación Epistemológica De La Investigación Interdisciplinaria*, 1a/Ed. GEDISA, Barcelona, España.

Gelambi, M. (2019). ¿Qué es el índice de Shannon y para qué sirve? Lifeder. Revisado el 20 de agosto de 2019, de <https://www.lifeder.com/indice-de-shannon/>.

Gerdessen, J. C., and Pascucci, S. (2013). Data Envelopment Analysis of sustainability indicators of European agricultural systems at regional level. *Agricultural Systems* **118**, 78-90.

Giday, K., Humnessa, B., Muys, B., Taheri, F., and Azadi, H. (2018). Effects of livestock grazing on key vegetation attributes of a remnant forest reserve: The case of Desa'a Forest in northern Ethiopia. *Global Ecology and Conservation* **14**, e00395.

Giraud, H. L. (2015). Bioética de la ciudad sostenible. *Bioética* **1**, 91-106.

Gliessman, S. R., Rosado-May, F. J., Guadarrama-Zugasti, C., Jedlicka, J., Cohn, A., Méndez, V. E., Cohen, R., Trujillo, L., Bacon, C., y Jaffe, R. (2007). Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. *Revista Ecosistemas* **16**, 13-23.

Gómez-Fuentes-Galindo, T., González-Rebeles, C., López-Ortiz, S., Ku-Vera, J. C., Albor-Pinto, C., y Sangines-García, J. R. (2017). Dominancia, composición química-nutritiva de especies forrajearas y fitomasa potencial en una selva secundaria. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* **14**, 617-634.

- González, K. (2018). Calidad del agua para consumo del bovino. (A. Norén, ed.), Vol. 2018. Zootecnia y Veterinaria es mi pasión.
- González-Stagnaro, C., Madrid-Bury, N., y Goicochea Llaque, J. (2003). Análisis de la tasa de preñez en vacas doble propósito. *Rev. Científ. FCV-LUZ* **13**, 440-447.
- Grassberger, P. (1986). How to measure self-generated complexity. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* **140**, 319-325.
- Grün, E. (2005). Algunas observaciones-desde la sistémica y la cibernética-sobre gobernanza y gobernabilidad de los Estados. *Revista Telemática de Filosofía del Derecho*, 229-265.
- Gu, Y., Zhang, X., Deal, B., and Han, L. (2019). Biological systems for treatment and valorization of wastewater generated from hydrothermal liquefaction of biomass and systems thinking: A review. *Bioresource Technology* **278**, 329-345.
- Guerra, G., Espinel, G. G., y Valdés, A. A. (1995). "Glosario para administradores y economistas agropecuarios," 1a/Ed. Editorial Limusa, S.A de C.V., México, D.F.
- Gutiérrez-Cedillo, J. G., González-Esquivel, C. E., Antonio-Némiga, X. (2015). Perspectivas epistemológicas en la evaluación de sustentabilidad: un análisis metodológico y prospectivo. *Ciencia Ergo-Sum*. **22-3**: 253-261.
- Gutiérrez, G. E. (2007). De las teorías del desarrollo al desarrollo sustentable. Historia de la construcción de un enfoque multidisciplinario. *Trayectorias* **9**, 45-60.
- Hagen, K. (2018). ¿Cómo calcular el punto de equilibrio de su negocio (que significa para la gestión de su negocio)? In "Tabarsi Solutions" (G. Pymes, ed.), Vol. 2018. Grandes Pymes, Argentina.
- Halffter, G., Cruz, M., y Huerta, C. (2018). Ganadería sustentable en el Golfo de México. pp. 432. Instituto de Ecología, A.C. , México.
- Hay, L., Duffy, A., and Whitfield, R. (2014). The sustainability cycle and loop: models for a more unified understanding of sustainability. *Journal of Environmental Management* **133**, 232-257. DOI: 10.1016/j.jenvman.2013.11.048.
- Hernández, V. M. O., Ramos, P. E. G., y Núñez, R. G. M. (2018). Las prácticas y la publicidad en el consumo de refrescos en mexicanos. *Revista Salud Pública y Nutrición* **14**, 33-35.
- Herrera, R. (2007). Toma y procesamiento de la muestra de pasto. Su influencia en indicadores morfológicos y composición química. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* **41**, 209-216.

- Hersscher, E. G. (2013). "Pensamiento sistémico: Caminar el cambio o cambiar el camino," 1a/Ed. Ediciones Granica, Buenos Aires.
- Herzog, A., Winckler, C., and Zollitsch, W. (2018). In pursuit of sustainability in dairy farming: A review of interdependent effects of animal welfare improvement and environmental impact mitigation. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **267**, 174-187.
- Hincapié-Gómez, E., y Salazar-Gutiérrez, L. (2014). Impacto de la erosión sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y la producción de café.
- Hincapié, E., y Salazar, L. (2011). Impacto de la erosión sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y la producción de café. *Cenicafé* **62**, 79-89.
- Hiremath, R. B., Balachandra, P., Kumar, B., Bansode, S. S., and Murali, J. (2013). Indicator-based urban sustainability—A review. *Energy for Sustainable Development* **17**, 555-563. DOI: 10.1016/j.esd.2013.08.004.
- Huerta, E., Kampichler, C., Ochoa-Gaona, S., De Jong, B., Hernandez-Daumas, S., and Geissen, V. (2014). A multi-criteria index for ecological evaluation of tropical agriculture in southeastern Mexico. *PloS One* **9**, e112493.
- Iermanó, M. J., y Sarandón, S. J. (2016). Rol de la agrobiodiversidad en sistemas familiares mixtos de agricultura y ganadería pastoril en la Región Pampeana, Argentina. Su importancia para la sustentabilidad de los agroecosistemas. *Revista Brasileira de Agroecología* **11**, 94-103.
- INCAP, O., Menchú, M. T., y Méndez, H. (2012). Tabla de composición de alimentos de Centroamérica. In "Menchú and Mendez" (O. INCAP, ed.). INCAP, Guatemala.
- INEGI (2005). Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie III (continuo nacional). Vol. 2017. Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- INEGI (2007). "Censo Agropecuario 2007. Cría y explotación de animales en Veracruz de Ignacio de la Llave." INEGI, México.
- INEGI (2008). Guía para la Interpretación de Cartografía Climatológica. INEGI.
- Infante, M. I., Letelier, M. E., y de Profesionales Ancora, S. (2013). Alfabetización y educación: lecciones desde la práctica innovadora en América Latina y el Caribe," Unesco, Chile.
- INTA (2010). Calidad de agua para bebida de animales. (L. J. Luque, ed.), Vol. 2019. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina.

- Iñigo, E. A., and Albareda, L. (2016). Understanding sustainable innovation as a complex adaptive system: a systemic approach to the firm. *Journal of Cleaner Production* **126**, 1-20.
- Jamalimoghaddam, E., Yazdani, S., Salami, H., and Peykani, G. (2019). The impact of water supply on farming systems: A sustainability assessment. *Sustainable Production and Consumption* **17**, 269-281.
- Janker, J., Mann, S., and Rist, S. (2019). Social sustainability in agriculture—A system-based framework. *Journal of Rural Studies* **65**, 32-42.
- Jarquín, S. N. H., et al. (2017). Pluriactividad y agricultura familiar: retos del desarrollo rural en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* **8**(4): 949-963.
- Juárez-Barrientos, J. M., Herman-Lara, E., Soto-Estrada, A., Vilaboa-Arroniz, J., y Díaz-Rivera, P. (2015). Tipificación de sistemas de doble propósito para producción de leche en el distrito de desarrollo rural 008, Veracruz, México. *Revista Científica* **25**.
- Kayatz, B., Baroni, G., Hillier, J., Lüdtkke, S., Heathcote, R., Malin, D., van Tonder, C., Kuster, B., Freese, D., Hüttl, R., and Wattenbach, M. (2019). Cool Farm Tool Water: A global on-line tool to assess water use in crop production. *Journal of Cleaner Production* **207**, 1163-1179.
- Kazemi, H., Klug, H., and Kamkar, B. (2018). New services and roles of biodiversity in modern agroecosystems: A review. *Ecological Indicators* **93**, 1126-1135.
- Keirstead, J. (2007). Selecting sustainability indicators for urban energy systems. In "International Conference on Whole Life Urban Sustainability and its Assessment Glasgow".
- King, L. O. (2016). Functional sustainability indicators. *Ecological Indicators* **66**, 121-131. DOI: 10.1016/j.ecolind.2016.01.027.
- Kuhmonen, T. (2017). Exposing the attractors of evolving complex adaptive systems by utilising futures images: Milestones of the food sustainability journey. *Technological Forecasting and Social Change* **114**, 214-225.
- Kurlat, M., Chichizola, D., y Risso, A. (2018). Procesos de alfabetización en personas jóvenes y adultas: Toda situación es una oportunidad para escribir. *Cuadernos de Educación* **16**, 104-119.
- Kwatra, S., Kumar, A., Sharma, P., Sharma, S., and Singhal, S. (2016). Benchmarking sustainability using indicators: An Indian case study. *Ecological Indicators* **61**, 928-940. DOI: 10.1016/j.ecolind.2015.10.049.
- Larios, R. y Hernández, J. (1993). Evaluación del riesgo de degradación de los suelos por erosión hídrica en el estado de Tabasco. *Revista de Geografía Agrícola* **18**: 95-106.

- Lazos, C. E. (2001). Ciclos y rupturas: dinámica ecológica de la ganadería en el sur de Veracruz, Lucina Hernández/Ed., México.
- Lewandowska-Czarnecka, A., Piernik, A., and Nienartowicz, A. (2019). Performance indicators used to study the sustainability of farms. Case study from Poland. *Ecological Indicators* **99**, 51-60.
- Li, Y., Beeton, R. J. S., Sigler, T., and Halog, A. (2019). Enhancing the adaptive capacity for urban sustainability: A bottom-up approach to understanding the urban social system in China. *Journal of Environmental Management* **235**, 51-61.
- Liu, X., Liu, G., Yang, Z., Chen, B., and Ulgiati, S. (2016). Comparing national environmental and economic performances through emergy sustainability indicators: Moving environmental ethics beyond anthropocentrism toward ecocentrism. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **58**, 1532-1542. DOI: 10.1016/j.rser.2015.12.188.
- Loewy, T. (2008). Indicadores sociales de las unidades productivas para el desarrollo rural en Argentina. *Revibec: Revista Iberoamericana de Economía Ecológica* **9**, 75-85.
- Lopes, M. A., dos Santos, G., e Lopes, S. (2013). Análise de rentabilidade de fazendas leiteiras em regime de semiconfinamiento com alta produção diária. *Informações Econômicas* **43**, 65-74.
- Lozano-Zambrano, F. H. (2009). "Herramientas de manejo para la conservación de biodiversidad en paisajes rurales," CAR, Bogota, Colombia.
- Luukkanen, J., Kaivo-oja, J., Vähäkari, N., O'Mahony, T., Korkeakoski, M., Panula-Ontto, J., Phonhalath, K., Nanthavong, K., Reincke, K., Vehmas, J., and Hogarth, N. (2019). Green economic development in Lao PDR: A sustainability window analysis of Green Growth Productivity and the Efficiency Gap. *Journal of Cleaner Production* **211**, 818-829.
- Machado, R., Miranda, T., y Álvarez, J. (2010). Diversidad de la flora en fincas ganaderas de la provincia de Matanzas. *Pastos y Forrajes* **33**, 1-12.
- Magaña-Monforte, J., Ríos-Arjona, G., y Martínez-González, J. (2006). Los sistemas de doble propósito y los desafíos en los climas tropicales de México. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* **14**, 105-114.
- Magaña-Monforte, J. G., Osorio, E., Centurión-Castro, F., Segura-Correa, J. C., Aké-López, R., y Aguilar-Pérez, C. F. (2018). Producción de leche y tasa de gestación de vacas de doble propósito en el sureste de México. *Livestock Research for Rural Development* **26**.

- Mainali, B., and Silveira, S. (2015). Using a sustainability index to assess energy technologies for rural electrification. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **41**, 1351-1365. DOI: 10.1016/j.rser.2014.09.018.
- Maldonado, C. E., y Gómez, C. N. A. (2010). Modelamiento y simulación de sistemas complejos, Rep. No. 0124-8219. Centro de Estudios Empresariales para la Perdurabilidad CEEP.
- Mancilla, M. N. O. (2015). La ganadería de carne bovina en Colombia vista desde la ecología organizacional. *El Centauro* **4**, 7.
- Martínez-Castro, C. J., Ríos-Castillo, M., Castillo-Leal, M., Jiménez-Castañeda, J.C., y Cotera-Rivera, J. (2015). Sustentabilidad de agroecosistemas en regiones tropicales de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* **18**(1): 113-120.
- Martínez-Domínguez, M., Souza, M. d., y Mora-Rivera, J. (2018). Cambios en el empleo e ingreso de los hogares rurales de México, 2002-2007. *Región y Sociedad* **30**, 1-28. DOI: 10.22198/rys.2018.71.a772.
- Martínez-González, J. C., Castillo-Rodríguez, S., Villalobos-Cortés, A., Hernández-Meléndez, J. (2017). Sistemas de producción con rumiantes en México. *Ciencia Agropecuaria* **26**: 132-152.
- Martínez-León, H. C., and Calvo-Amodio, J. (2017). Towards lean for sustainability: Understanding the interrelationships between lean and sustainability from a systems thinking perspective. *Journal of Cleaner Production* **142**, 4384-4402.
- Martínez, C. C. J., Cotera, R. J., y Abad, Z. J. (2012). Características de la producción y comercialización de leche bovina en sistemas de doble propósito en Dobladero, Veracruz. *Revista Mexicana de Agronegocios* **30**, 816-824.
- Martínez, E. A., y López, M. I. (2011). Control de gestión en unidades de producción de ganadería de doble propósito. *Visión Gerencial*, 325-340.
- Martínez, V. R., y Cisneros, Z. E. (2016). Viabilidad económica del riego localizado en el cultivo del cafeto. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* **25**, 44-50.
- McCabe, T. J. (1976). A complexity measure. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 308-320.
- Médiène, S., Valantin-Morison, M., Sarthou, J.-P., De Tourdonnet, S., Gosme, M., Bertrand, M., Roger-Estrade, J., Aubertot, J.-N., Rusch, A., and Motisi, N. (2011). Agroecosystem management and biotic interactions: a review. *Agronomy for Sustainable Development* **31**, 491-514.
- Melchor-Marroquín, J. I., y Chagoya-Fuentes, J. L. (2016). Diagnóstico de la erosión hídrica en la cuenca del río Tuxpan, Veracruz, México. *Aqua-LAC* **8**, 25-35.

- Mihailović, D. T., Balaž, I., and Kapor, D. (2017). Chapter 15 - Kolmogorov complexity and the measures based on this complexity. *In "Developments in Environmental Modelling"* (D. T. Mihailović, I. Balaž and D. Kapor, eds.), Vol. 29, pp. 151-173. Elsevier.
- Mingers, J., and White, L. (2010). A review of the recent contribution of systems thinking to operational research and management science. *European Journal of Operational Research* **207**, 1147-1161.
- Mofidi, M. C., Alijanpour, A., Barani, H., Motamedi, J., Azadi, H., and Van Passel, S. (2018). Economic sustainability assessment in semi-steppe rangelands. *Science of The Total Environment* **637-638**, 112-119.
- Moldan, B., Janoušková, S., and Hák, T. (2012). How to understand and measure environmental sustainability: Indicators and targets. *Ecological Indicators* **17**, 4-13.
- Molina-Murillo, S. A., Barrientos, G., Bonilla, M., Garita, C., Jiménez, A., Madriz, M., Paniagua, J., Rodríguez, J. C., Rodríguez, L., y Treviño, J. (2017). ¿Son las fincas agroecológicas resilientes? Algunos resultados utilizando la herramienta SHARP-FAO en Costa Rica. *Revista Ingeniería* **27**, 25-39. DOI: 10.15517/ri.v27i2.27859.
- Monroy, H. R., Brindis, S. A. I., Guevara, H. F., Coutiño, R. R. R., Lozano, L. E., y Pimentel, S. R. (2016). Análisis económico-financiero: a un acopio lechero en la región maya de Chiapas. *Kuxulkab'* **22**, 45-54.
- Monsalve, Á. J., y González, Z. L. (2011). Diseño de un cuestionario de frecuencia para evaluar ingesta alimentaria en la Universidad de Antioquia, Colombia. *Nutrición Hospitalaria* **26**, 1333-1344.
- Montero-Contreras, D. P. (2016). El consumo de agua embotellada en la Ciudad de México desde una perspectiva institucional. *Agua y Territorio/Water and landscape* **7**, 35-49. DOI: 10.17561/at.v0i7.2961.
- Montero, G. R. (2016). Modelos de regresión lineal múltiple. *In "Departamento de Economía Aplicada"*, Vol. 14. Universidad de Granada, Granada, España.
- Moreno, J. C. (2002). Tres teorías que dieron origen al pensamiento complejo: sistémica, cibernética e información. Instituto Colombiano de Fomento de la Educación Superior, UNESCO.
- Müller, S. (1996). "Como medir la sostenibilidad, una propuesta para el área de la agricultura y de los recursos naturales", Documentos de discusión sobre agricultura sostenible y recursos naturales. Vol. 1. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Agroamerica.

- Muñoz-Erickson, T. A. (2014). Co-production of knowledge–action systems in urban sustainable governance: The KASA approach. *Environmental Science & Policy* **37**, 182-191.
- Muñoz, M. (2013). “Tablas de uso práctico de los alimentos de mayor consumo”. México, México, McGraw Hill Education.
- Musango, J. K., and Brent, A. C. (2011). A conceptual framework for energy technology sustainability assessment. *Energy for Sustainable Development* **15**, 84-91.
- Mutyasira, V., Hoag, D., Pendell, D., Manning, D. T., and Berhe, M. (2018). Assessing the relative sustainability of smallholder farming systems in Ethiopian highlands. *Agricultural Systems* **167**, 83-91.
- Nahed-Toral, J., Sanchez-Muñoz, B., Mena, Y., Ruiz-Rojas, J., Aguilar-Jimenez, R., Castel, J. M., de Asis Ruiz, F., Orantes-Zebadua, M., Manzur-Cruz, A., Cruz-Lopez, J., and Delgadillo-Puga, C. (2013). Feasibility of converting agrosilvopastoral systems of dairy cattle to the organic production model in southeastern Mexico. *Journal of Cleaner Production* **43**, 136-145. DOI: 10.1016/j.jclepro.2012.12.019.
- Nájera-Garduño, A. d. L., Piedra-Matias, R., Albarrán-Portillo, B., and García-Martínez, A. (2016). Cambios en la ganadería doble propósito en el trópico seco del estado de México. *Agrociencia* **50**, 701-710.
- Nyamekye, A. B., Dewulf, A., Van Slobbe, E., Termeer, K., and Pinto, C. (2018). Governance arrangements and adaptive decision-making in rice farming systems in Northern Ghana. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences* **86-87**, 39-50.
- O’Ryan, R., and Pereira, M. (2015). Participatory indicators of sustainability for the salmon industry: The case of Chile. *Marine Policy* **51**, 322-330. DOI: 10.1016/j.marpol.2014.09.010.
- Olmos-Martínez, E. (2013). Pobreza y su relación con el uso de los recursos pesqueros en una comunidad rural de la costa del Pacífico de Baja California Sur. *Sociedad y Ambiente* **1**, 4-21.
- Olmos, M. A., y Santos, W. G. (2013). El valor de la sustentabilidad. *Ciencia y Agricultura* **10**, 91-100.
- OMS (2006). Guías para la calidad del agua potable, Tercera edición/Ed. Organización Mundial de la Salud.
- Ondarza, B. M. A. (2018). Revisión en glicobiología (El lenguaje de la vida). *Revista de Educación Bioquímica* **36**, 73-81.

- Ordóñez, T. J. A. (2014). Teorías del desarrollo y el papel del Estado: Desarrollo humano y bienestar, propuesta de un indicador complementario al índice de desarrollo humano en México. *Política y Gobierno* **21**, 409-441.
- Oros, N. V., Diaz, R. P., Vilaboa, A. J., Martínez, D. J. P., y Torres, H. G. (2011). Caracterización por grupos tecnológicos de los hatos ganaderos doble propósito en el municipio de las Choapas, Veracruz, México. *Revista Científica* **21**, 57-63.
- Otta, S., Quiroz, J., Juaneda, E., Salva, J., Viani, M., y Filippini, M. F. (2016). Evaluación de sustentabilidad de un modelo extensivo de cría bovina en Mendoza, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo* **48**, 179-195.
- Palacios, D. J. R., Ramírez, A. V., Hernández, M. H. L., y Anaya, L. M. A. (2016). Neuroasociaciones del consumo de bebidas endulzadas. *Revista Mexicana de Neurociencia* **17**, 64-71.
- Parra-Cortés, R. I., and Magaña-Magaña, M. Á. (2019). Características técnico-económicas de los sistemas de producción bovina basados en razas criollas introducidas en México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* **6**, 535-547.
- Paul, J., Sierra, J., Causeret, F., Guindé, L., y Blazy, J.-M. (2017). Factors affecting the adoption of compost use by farmers in small tropical Caribbean islands. *Journal of Cleaner Production* **142**, 1387-1396.
- Pauli, N., Barrios, E., Conacher, A., and Oberthür, T. (2012). Farmer knowledge of the relationships among soil macrofauna, soil quality and tree species in a smallholder agroforestry system of western Honduras. *Geoderma* **189**, 186-198.
- Peniche-González, I. N., González-López, Z. U., Aguilar-Pérez, C. F., Ku-Vera, J. C., Ayala-Burgos, A. J., and Solorio-Sánchez, F. J. (2014). Milk production and reproduction of dual-purpose cows with a restricted concentrate allowance and access to an association of *Leucaena leucocephala* and *Cynodon nlemfuensis*. *Journal of Applied Animal Research* **42**, 345-351. DOI: 10.1080/09712119.2013.875902.
- Petit, G., Sablayrolles, C., and Yannou-Le Bris, G. (2018). Combining eco-social and environmental indicators to assess the sustainability performance of a food value chain: A case study. *Journal of Cleaner Production* **191**, 135-143.
- Pfeiffer, M. L. C. (2015). ¿Es posible la sustentabilidad? *Revista Redbioética UNESCO* **1**, 125-139.
- Phillips, J. (2016). A quantitative evaluation of the sustainability or unsustainability of three tunnelling projects. *Tunnelling and Underground Space Technology* **51**, 387-404. DOI: 10.1016/j.tust.2015.09.009.
- Ponce, M. P. (2009). Análisis de la Teoría de Sistemas Complejos y su aplicación a sistemas organizacionales. *Revista Revismar*, 52-67.

- Poortinga, W., and Darnton, A. (2016). Segmenting for sustainability: The development of a sustainability segmentation model from a Welsh sample. *Journal of Environmental Psychology* **45**, 221-232.
- Popovic, T., Barbosa-Póvoa, A., Kraslawski, A., and Carvalho, A. (2018). Quantitative indicators for social sustainability assessment of supply chains. *Journal of Cleaner Production* **180**, 748-768.
- Purdy, A., Pathare, P. B., Wang, Y., Roskilly, A. P., and Huang, Y. (2018). Towards sustainable farming: Feasibility study into energy recovery from bio-waste on a small-scale dairy farm. *Journal of Cleaner Production* **174**, 899-904.
- Quintana, G., Díaz, O., Salinas, G., Casas, M., Huitrón, J., Beltrán, R., y Guerrero, E. (2011). Desarrollo Sustentable en el Contexto Actual. *México DF, México*.
- Ramírez, G. J. G. (2017). Arvenses en cultivos de aguacate, tomate de árbol, pastos y forrajes y su relación con el rendimiento y costos de producción. *Cultivos Tropicales* **38**, 14-23.
- Rao, I. M., Peters, M., Castro, A., Schultze-Kraft, R., White, D., Fisher, M., Miles, J. W., Lascano, C. E., Blümmel, M., and Bungenstab, D. J. (2015). LivestockPlus: the sustainable intensification of forage-based agricultural systems to improve livelihoods and ecosystem services in the tropics. *Tropical Grasslands – Forrajes Tropicales* **3**, 59–82.
- Ren, C., Liu, S., Van Grinsven, H., Reis, S., Jin, S., Liu, H., and Gu, B. (2019). The impact of farm size on agricultural sustainability. *Journal of Cleaner Production*.
- Reyes, G. E. (2001). Principales teorías sobre el desarrollo económico y social. *Nómadas. Critical Journal of Social and Juridical Sciences* **4**, 23.
- Resat, G. H., and Turkay, M. (2015). Transport and Logistic models for sustainability. *Computer Aided Chemical Engineering* **36**, 1570-7946.
- Rivera, J., Cuartas, C., Naranjo, J., Tafur, O., Hurtado, E., Arenas, F., Chará, J., y Murgueitio, E. (2015). Efecto de la oferta y el consumo de *Tithonia diversifolia* en un sistema silvopastoril intensivo (SSPi), en la calidad y productividad de leche bovina en el piedemonte Amazónico colombiano. *Livestock Research for Rural Development* **27**, 1-13.
- Roca-Puig, V. (2019). The circular path of social sustainability: An empirical analysis. *Journal of Cleaner Production* **212**, 916-924.
- Rodríguez-Izquierdo, L., Rodríguez-Jiménez, S. L., Macías-Figueroa, O. L., Benavides-Martell, B., Amaya-Martínez, O., Perdomo-Pujol, R., Pardo-Mesa, R., y Miyares-Rodríguez, Y. (2017). Evaluación de la producción de alimentos y energía en fincas agropecuarias de la provincia Matanzas, Cuba. *Pastos y Forrajes* **40**, 222-229.

- Rodríguez, J. M. M. (2005). La cuestión ambiental desde una visión sistémica. *In "Revista Ideas Ambientales"*.
- Rodríguez, S., Gauna, L., Martínez, G., Acevedo, H., y Romero, C. (2012). Relación del nitrato sobre la contaminación bacteriana del agua. *Terra Latinoamericana* **30**, 111-119.
- Rojas, N. P., Ramirez, M. D., Rasche, A. J., y Encina, R. A. (2018). Niveles de materia orgánica en distintos tipos de manejos/Levels of organic matter in different types of management. *Brazilian Journal of Development* **4**, 3789-3800.
- Rossberg, A. G., Uusitalo, L., Berg, T., Zaiko, A., Chenuil, A., Uyerra, M. C., Borja, A., and Lynam, C. P. (2017). Quantitative criteria for choosing targets and indicators for sustainable use of ecosystems. *Ecological Indicators* **72**, 215-224.
- Rotem, G., Ziv, Y., Giladi, I., and Bouskila, A. (2013). Wheat fields as an ecological trap for reptiles in a semiarid agroecosystem. *Biological conservation* **167**, 349-353.
- Rueda, N. S. (1995). El modelo de sistema viable: un instrumento para la organización efectiva. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, 5-14.
- Ruiz, E. J. F. (2017). Análisis de sustentabilidad en sistemas de producción especializada de leche en el norte de Antioquia, con diferentes niveles de intensificación, Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín, Medellín Colombia.
- SAGARPA (2007). Programa Nacional Pecuario 2007-2012. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (on line). Vol. SAGARPA, México. De: <http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Publicaciones/Paginas/ProgNacPecuario.aspx>, SAGARPA.
- SAGARPA (2012). Administración estratégica de ranchos pecuarios con base a uso de registros técnicos y económicos. SAGARPA, México.
- Sager, L. R. (2000). Agua para bebida de bovinos. *In "Reedición de la Serie Técnica N° 126"* (INTA, ed.), Vol. 2018. INTA, Argentina.
- Saidani, M., Yannou, B., Leroy, Y., Cluzel, F., and Kendall, A. (2019). A taxonomy of circular economy indicators. *Journal of Cleaner Production* **207**, 542-559.
- Salcedo, S., y Guzmán, L. (2014). Agricultura familiar en América Latina y el Caribe: recomendaciones de política, 1a/Ed. FAO, Santiago, Chile.
- Sánchez-Medina, A., Herrera-Haro, J. G., Ramírez-Bribiesca, J. E. Ortega-Cerrilla, M. E., Mendoza-Nazar, P., Dorantes, J. J. (2018). Evaluación económica del sistema de producción lechera familiar. *Agroproductividad* **11**(1): 111-117.

- Sandoval, M. R. S., Ruiz, G. L. F., y Carcelén, C. F. D. (2017). Determinación de la Tasa de Servicio y de los Factores que la Afectan en Establos de Lechería Intensiva de Lima, Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* **28**, 314-326.
- Sarandón, S. J. (2002). El agroecosistema: un sistema natural modificado. *Agroecología: El camino para una agricultura sustentable*. Ediciones Científicas Americanas, La Plata, Argentina.
- Sarandón, S. J., y Flores, C. C. (2009). Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: una propuesta metodológica. *Agroecología* **4**, 19-28.
- Sarandón, S. J., Zuluaga, M. S., Cieza, R., Janjetic, L., y Negrete, E. (2006). Evaluación de la sustentabilidad de sistemas agrícolas de fincas en Misiones, Argentina, mediante el uso de indicadores. *Agroecología* **1**, 19-28.
- Savaget, P., Geissdoerfer, M., Kharrazi, A., y Evans, S. (2019). The theoretical foundations of sociotechnical systems change for sustainability: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production* **206**, 878-892.
- Schramm, F. R. (2015). Deconstruyendo el “desarrollo sustentable” y la alternativa de “decrecimiento” en la era de la globalización. *Rev. Redbioética/UNESCO* **1**, 70-79.
- Schramski, J., Rutz, Z., Gattie, D., and Li, K. (2011). Trophically balanced sustainable agriculture. *Ecological Economics* **72**, 88-96.
- Schuschny, A., y Soto, H. (2009). Diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible. Documento Proyecto. Naciones Unidas. Santiago de Chile, CEPAL: 109.
- SEMARNAT (2013). Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. Indicadores clave y de desempeño ambiental. México, D.F. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. **2018**: 360.
- Sepúlveda, C., Ibrahim, M., Bach, O., y Rodríguez, A. (2011). Desarrollo de lineamientos para la certificación de sistemas sostenibles de producción ganadera. *Agroforestería de las Américas* **48**, 14-20.
- Shamah-Levy, T., Villalpando, S., Rivera, J. A., Mejía-Rodríguez, F., Camacho-Cisneros, M., and Monterrubio, E. A. (2003). Anemia in Mexican women: a public health problem. *Salud Pública de México* **45**, 499-507.
- SIAP (2018)a. Resumen Nacional 2008-2017. SIAP. México, D.F. De: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/412570/Resumen_Poblaci_n_ganadera_Especie.pdf.
- SIAP (2018)b. Bovino carne y leche. Población ganadera 2008 - 2017, cabezas. De: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/412562/Bovino__2017.pdf.

- SIAP (2018)c. Bovino. Producción, precio, valor y peso de ganado en pie 2018. Vol. 2018.SIAP, México, Mex. De: https://nube.siap.gob.mx/cierre_pecuario/.
- Siles, G. I. (2007). Cibernética y sociedad de la información: el retorno de un sueño eterno. *Signo y Pensamiento* **26**, 84-99.
- Simon, H. A. (1962). The architecture of complexity. In "Facets of systems science", Vol. 106, pp. 467-482. Jstor.
- Somogyi, Z. (2016). A framework for quantifying environmental sustainability. *Ecological Indicators* **61**, 338-345.
- Suárez, B., Oscar, Álvarez, D. M. B., y Santana, G. Y. (2018). Principales causas que limitan la producción de leche en productores asociados a cooperativas de créditos y servicios del municipio Cienfuegos. *Revista Científica Agroecosistemas* **6**, 66-74.
- Tarride, M. (1995). Complexity and complex systems. *História, Ciências, Saúde-Manguinhos* **2**, 46-66.
- Tellarini, V., and Caporali, F. (2000). An input/output methodology to evaluate farms as sustainable agroecosystems: an application of indicators to farms in central Italy. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **77**, 111-123.
- Téllez, A. F.R. (2016). Prefijo CIBER: arqueología de su presencia en la sociedad del conocimiento. *Investigación y Desarrollo* **24**(1): 142-162.
- Thivierge, M.-N., Parent, D., Bélanger, V., Angers, D. A., Allard, G., Pellerin, D., y Vanasse, A. (2014). Environmental sustainability indicators for cash-crop farms in Quebec, Canada: A participatory approach. *Ecological Indicators* **45**, 677-686.
- Tokman, V. E. (2007). Informalidad, inseguridad y cohesión social en América Latina. *Revista Internacional del Trabajo* **126**, 93-120. DOI: 10.1111/j.1564-9148.2007.00006.x.
- Toro-Mújica, P., García, A., Gómez-Castro, A., Acero, R., Perea, J., y Rodríguez-Estévez, V. (2011). Sustentabilidad de agroecosistemas. *Archivos de Zootecnia* **60**, 15-39.
- Toro, P., García, A., Gómez-Castro, A., Perea, J., Acero, R., y Rodríguez-Estévez, V. (2010). Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas. *Archivos de Zootecnia* **59**, 71-94.
- Torres, N. Y. G. (2016). Aplicación de modelos de innovación abierta en el sistema de doble propósito de Manabí (Ecuador), Universidad de Cordoba, Cordoba, España.
- Tovar, M. P. (2017). Estudio sobre la educación para la población rural en México. In "Proyecto: Estado del arte de la educación de la población rural en siete países de América Latina" (U. FAO, CIDE, COOPERAZIONE ITALIANA, ed.), pp. 64.

- Trilleras, J. M., Jaramillo, V. J., Vega, E. V., and Balvanera, P. (2015). Effects of livestock management on the supply of ecosystem services in pastures in a tropical dry region of western Mexico. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **211**, 133-144.
- Urdaneta, F. (2009). Mejoramiento de la eficiencia productiva de los sistemas de ganadería bovina de doble propósito (taurusindicus). *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* **17**, 109-120.
- Valenzuela, E., Godoy, R., Almonacid, L., y Barrientos, M. (2012). Calidad microbiológica del agua de un área agrícola-ganadera del centro sur de Chile y su posible implicancia en la salud humana. *Revista Chilena de Infectología* **29**, 628-634.
- Vargas, J., Benítez, D., Torres, V., Ríos, S., y Soria, S. (2015). Factores que determinan la eficiencia de la producción de leche en sistemas de doble propósito en la provincia de Pastaza, Ecuador. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* **49**, 17-21.
- Vázquez-García, V., Montes-Estrada, M., y Montes-Estrada, M. (2005). Consumo de alimentos y situación nutricional en dos comunidades indígenas del sureste veracruzano en México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* **2**, 1-13.
- Vázquez-Selem, E., Aguilar-Barradas, U., y Villagómez-Cortés, J. A. (2016). Comparación de la eficiencia productiva y económica de grupos ganaderos organizados de doble propósito y de lechería familiar/semiespecializada. *Ciencia Administrativa* **1**, 226-237.
- Vega, A. V. (2018). Factores predominantes que afectan el estado nutricional relacionado con el consumo alimentario y tamizaje nutricional en un grupo de adultos mayores de Moravia 2018. *Nutrición. Moravia, Universidad huspinoamericana*: 178.
- Vega, M. L., Iribarnegaray, M. A., Hernández, M. E., Arzeno, J. L., Osinaga, R., Zelarayan, A. L., Fernández, D. R., SERRANO, F. M., Volante, J. N., y Seghezze, L. (2015). Un nuevo método para la evaluación de la sustentabilidad agropecuaria en la provincia de Salta, Argentina. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias* **41**, 168-178.
- Velázquez, V. E., Pérez, F. M. Á., y Chávez, C. A. (2006). El análisis de la comunidad: parámetros y evaluaciones de la diversidad biológica. *Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas*.
- Vélez, I., Espinosa, G., Omaña, S., González, O., y Quiroz, V. (2013). Adopción de tecnología en unidades de producción de lechería familiar en Guanajuato, México. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal* **3**, 88-96.
- Vilaboa-Arroniz, J., Díaz-Rivera, P., Ruiz-Rosado, O., Platas-Rosado, D. E., González-Muñoz, S., y Juárez-Lagunes, F. (2009). Caracterización socioeconómica y tecnológica de los agroecosistemas con bovinos de doble propósito de la región del Papaloapan, Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* **10**, 53-62.

- Villalobos, L., y Arce, J. (2013). Evaluación agronómica y nutricional del pasto estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) en la zona de Monteverde, Puntarenas, Costa Rica. I. Disponibilidad de biomasa y fenología. *Agronomía Costarricense* **37**, 91-101.
- Villareal, H. M., Álvarez, M., Córdoba-Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza-Cifuentes, H., Ospina, M., y Umaña, A. M. (2006). Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogota, Colombia.
- Von Bertalanffy, L., y Almela, J. (1984). "Teoría general de los sistemas fundamentos, desarrollo, aplicaciones," 7. Reimpresión/Ed. Fondo de cultura económica S.A. de C.V.
- Vugteveen, P., Rouwette, E., Stouten, H., van Katwijk, M. M., and Hanssen, L. (2015). Developing social-ecological system indicators using group model building. *Ocean & Coastal Management* **109**, 29-39. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2015.02.011.
- Williams, A., Kennedy, S., Philipp, F., and Whiteman, G. (2017). Systems thinking: A review of sustainability management research. *Journal of Cleaner Production* **148**, 866-881.
- Williamson, T. R., Tilley, D. R., and Campbell, E. (2015). Emergy analysis to evaluate the sustainability of two oyster aquaculture systems in the Chesapeake Bay. *Ecological Engineering* **85**, 103-120. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2015.09.052.
- Yang, X.-r., Chen, K. Z., and Kong, X.-z. (2019). Factors affecting the adoption of on-farm milk safety measures in Northern China — An examination from the perspective of farm size and production type. *Journal of Integrative Agriculture* **18**, 471-481.
- Yao, L., Liu, J., Wang, R., Yin, K., and Han, B. (2015). A qualitative network model for understanding regional metabolism in the context of Social–Economic–Natural Complex Ecosystem theory. *Ecological Informatics* **26**, 29-34. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2014.05.014.
- Zaidi, S. A. H., Mirza, F. M., Hou, F., and Ashraf, R. U. (2018). Addressing the sustainable development through sustainable procurement: What factors resist the implementation of sustainable procurement in Pakistan? *Socio-Economic Planning Sciences*.
- Zamora, B. P. M., Mendoza, M. C., y Guerrero, M. P. I. (2017). Cambio climático y su relación con prácticas de manejo del suelo para la captura de carbono: sectores agropecuario y forestal. *Elementos para Políticas Públicas* **1**, 249-264.
- Zepeda, C. R. M., Velasco, Z. M. E., Nahed, T. J., Hernández, G. A., y Martínez, T. J. J. (2016). Adopción de sistemas silvopastoriles y contexto sociocultural de los productores: apoyos y limitantes. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* **7**, 471-488.

- Zhu, W., Wang, S., and Caldwell, C. D. (2012). Pathways of assessing agroecosystem health and agroecosystem management. *Acta Ecologica Sinica* **32**, 9-17. DOI: 10.1016/j.chnaes.2011.11.001.
- Zinck, J., Berroterán, J., Farshad, A., Moameni, A., Wokabi, S., and Van Ranst, E. (2005). La sustentabilidad agrícola: un análisis jerárquico. *Gaceta Ecológica* **76**, 53-72.