

La adaptación como atributo esencial en el fomento de sistemas agropecuarios resilientes ante las perturbaciones[■]

The adaptive capacities as a key feature
in the promotion of resilient animal production systems

**José Nahed Toral,¹ José Manuel Palma García²
y Eliel González García³**

¹El Colegio de la Frontera Sur (Ecosur)
Departamento de Agroecología
Periférico Sur y Carretera Panamericana s/n
San Cristóbal de Las Casas, Chiapas; México (C. P. 29200)
jnahed@ecosur.mx

²Universidad de Colima
Avenida Universidad No. 333, Colima, Colima; México (C. P. 28040).
palma@uclm.mx

³INRA-UMR'868'
Systèmes d'Élevage Méditerranéens et Tropicaux (SELMET)
Campus SupAgro-INRA | 2 Place Pierre VIALA, 34060
Montpellier Cedex 1, Francia
gonzalez@supagro.inra.fr

■ Artículo invitado

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo documentar algunos fundamentos teóricos del enfoque de sistemas y de la adaptación como atributo primordial para conseguir sistemas agropecuarios resilientes y sostenibles. Con un enfoque aplicado y dinámico, en la primera parte se analizan algunas estrategias de integración y adaptación que permitirían aumentar la resiliencia y reducir la vulnerabilidad de los sistemas. En la segunda parte, se presentan y desarrollan tres casos de sistemas ganaderos con resultados positivos en diferentes regiones (dos en México y uno en Cuba). Con tales estudios de caso se ilustra la aplicación de los conceptos teóricos y estrategias prácticas de intervención o mecanismos de regulación apropiados que

Abstract

This study aimed to document some theoretical foundations of adaptation and systems approach as the primary attribute for resilient and sustainable farming systems. They are presented as essential attributes when looking for the achievement of goals of the overall resilience and farming systems' sustainability. In the first part, with an applied and context-dynamic perspective, some hierarchical concepts and strategies of integration and adaptation are analyzed, leading to reduce the vulnerability of the systems. In the second part, three successful farming systems' case studies (two from Mexico and one from Cuba) are described. The last to illustrate with real practical experiences, the integrated application of some of such theoretical concepts, prac-

se discuten, y que estarían orientados a potencializar las capacidades de adaptación de los sistemas. La valorización a todos los niveles de tales mecanismos de regulación (homeostasis, teleforesis) representa la piedra angular en el fomento de sistemas constituidos por componentes robustos, capaces de rendir respuestas adaptativas consistentes, ante las perturbaciones internas y externas en el tiempo y en el espacio. Con ello se contribuye, entonces, a crear un compromiso sólido entre los objetivos de productividad y de utilización racional de los recursos naturales y locales para, de esta manera, lograr sistemas perdurables; sostenibles desde varios puntos de vista: económico, ambiental y socialmente aceptables.

Palabras clave

Sostenibilidad, ganadería, riesgos, vulnerabilidad, integración.

tical strategies of intervention, and mechanisms of regulation that are previously discussed, and that would be oriented to promote the long-term adaptive capacities of the farming systems. The valuation at all levels of these regulatory mechanisms (homeostasis, teleforesis) represents the cornerstone in the building of robust components capable of consistent adaptive responses in the face of internal and external strain in time and space. Meanwhile, with the application of such effective strategies, we would be in better conditions for helping to create a solid commitment between productivity and the objectives for the rational use of the natural and local resources. Finally, this change in the philosophy of the farming systems management would help create a sound compromise between the objectives of productivity and rational use of natural and local resources, thus achieving the required sustainability of farming systems from the economic, environmental and social points of view.

Keywords

Sustainability, livestock production, risks, vulnerability, integration.

Introducción

Al momento de preparar este trabajo, se dispone de innumerables fuentes bibliográficas en la literatura especializada; éstas argumentan, de manera fehaciente, el estado crítico actual de los sistemas agrícolas en el mundo y, más específicamente, de los sistemas ganaderos (Gerber *et al.*, 2013). Así, innumerables son las fuentes que citan los efectos irreversibles de las prácticas convencionales (p. ejem: monocultivos con dependencia de recursos externos, como pesticidas y otros agroquímicos) sobre la erosión de los suelos (con la pérdida inherente de tierras arables), la calidad de las aguas subterráneas, la desaparición de especies, la pérdida de la biodiversidad, la deforestación, entre otros.

Desde hace aproximadamente tres décadas los sistemas agrícolas y ganaderos se enfrentan a perturbaciones frecuentes e impredecibles, provocadas por los efectos adversos (directos o indirectos), de fenómenos relativamente recientes como consecuencia del cambio climático, las crisis económicas, financieras y energéticas (IPCC, 2014).

Asociado a situaciones negativas palpables, como la deforestación para establecer sistemas (agrícolas o ganaderos), se provoca con ello pérdida de biodiversidad, ruptura de ciclos hídricos, contaminación por agroquímicos de suelos y aguas, de los alimentos de origen animal y vegetal, mayores emisiones de gases con efecto invernadero. El aumento

de la población incrementa, a su vez, la necesidad de producir más, en un contexto en que, paradójicamente, la disponibilidad de tierra arable será cada vez menor; lo que conduce automáticamente a una presión sin precedentes sobre la base de recursos naturales.

Por lo que, la correcta comprensión y combinación óptima y consciente de los diferentes atributos o propiedades de los sistemas (productividad, estabilidad, adaptabilidad, resiliencia, equidad, y autogestión) resulta de vital importancia para lograr los objetivos de sostenibilidad.

Todo ello —ligado a la creciente polarización en la distribución de la riqueza— hace que los sistemas agropecuarios presenten grados variables de vulnerabilidad en función de sus propias características, de la magnitud y naturaleza de los riesgos a perturbaciones internas y externas a los que se enfrentan, así como a la capacidad de adaptación de los mismos para construir resiliencia.

El diseño, establecimiento y manejo de sistemas productivos, capaces de reducir los riesgos a tales perturbaciones en diferentes circunstancias; mediante la valorización de mecanismos de regulación implícitos, ligados a la homeostasis y homeótesis o teleoforesis (Bauman y Currie, 1980; Chilliard *et al.*, 1998; Chilliard, 1999) en cada uno de sus componentes, constituye una prioridad.

Con ello, se trabajaría para potencializar la resiliencia de los sistemas, con el objetivo de hacerlos menos vulnerables, capaces de brindar beneficios socio-ambientales a diferentes escalas. Ello permitiría, además, conciliar el mejoramiento de los sistemas productivos presentes con la conservación de los recursos naturales, reducir las emisiones de gases con efecto invernadero, la obtención de mayor eficiencia biológica, económica y posibilidades de autosuficiencia y soberanía alimentaria.

En tal escenario deseable, los diferentes conceptos del enfoque de sistemas y de sus propiedades contribuyen a comprender las perturbaciones que sufre un sistema en sus diferentes escalas, además de conocer las diferentes modalidades de respuestas adaptativas.

Con base en lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue documentar y discutir algunos fundamentos teóricos del enfoque de sistemas y de la adaptación como atributo primordial en el fomento de sistemas agropecuarios sostenibles. Se busca, además, provocar una reflexión en torno a la aplicación de las estrategias de integración y adaptación que aumenten la resiliencia y reduzcan la vulnerabilidad de los sistemas en función de las condiciones y los requerimientos específicos de cada lugar.

La visión sistémica y la noción dinámica e integral de utilización de los recursos

El enfoque de sistemas en la investigación agrícola

Hasta antes de 1975, las investigaciones sobre agricultura con un enfoque integral fueron escasas, discontinuas, dispersas y marginales a nivel internacional. Los estudios disciplinarios y tecnológicos se desarrollaron casi exclusivamente en espacios geográficos restringidos (campos experimentales), sin considerar la variación de circunstancias ambienta-

les, económicas, sociales y culturales reales de los agricultores, lo que limitó el alcance y significado de las investigaciones.

El enfoque integral de investigación en sistemas en la agricultura tiene su origen en los postulados que von Bertalanffy plasmó en la Teoría General de Sistemas (Bertalanffy, 1973). La aplicación de dicha teoría a las distintas áreas del conocimiento significó un importante avance para la ciencia, por ser una herramienta que incorpora todos los elementos que influyen sobre una decisión o respuesta, o sobre la comprensión de un fenómeno dentro de límites definidos (Morley, 1979). Previo al planteamiento de la teoría de sistemas, los fenómenos eran estudiados con los principios del enfoque reduccionista o análisis especializado de las partes más elementales de un sistema, lo que conducía a una pérdida de visión del conjunto del comportamiento del sistema.

A diferencia del enfoque reduccionista, la teoría de sistemas aporta un enfoque expansionista que permite conocer, explicar e intervenir en fenómenos complejos, donde todos los elementos (componentes, interacciones entre componentes, entradas, salidas y límites) son parte de otras escalas o de unidades de análisis mayores o menores (como célula, órgano, individuo, población, municipio, región, país, etcétera).

Desde esta perspectiva, un sistema es mucho más que la suma de los elementos que lo integran, por lo que no es suficiente estudiarlos de forma individual para agregarlos después. Se requiere llevar a cabo un trabajo multidisciplinario jerarquizado y organizado, mediante grupos de investigación. Esta necesidad se origina de la complejidad real de los sistemas agrícolas, y se explica porque el productor no maneja a las plantas o a los animales de forma aislada, sino que maneja simultáneamente la totalidad de la unidad de producción, con toda su complejidad biológica, ambiental, económica, social, cultural y política.

Es decir, los sistemas agrícolas están organizados en una estructura jerárquica, cuyos procesos de producción se relacionan tanto horizontal (sub-sistemas del mismo nivel jerárquico, interconectados entre sí para conformar un sistema mayor) como verticalmente (niveles jerárquicos diferentes). Desde esta perspectiva, el estudio de la agricultura con enfoque integral u holístico en diferentes escalas de análisis (cultivo o especie de animales, sistema de producción, unidad de producción, comunidad o región) incluye la investigación disciplinaria (en laboratorio, invernadero, vivero, postas zootécnicas, campos experimentales, etcétera), lo que brinda la oportunidad de conocer la influencia conjunta de los componentes del sistema sobre su comportamiento integral.

Es por ello que el enfoque de sistemas agrícolas supera la oposición entre las dos aproximaciones (reduccionista y expansionista) al conocimiento de la realidad. Este enfoque tiene mayores posibilidades en la generación, adecuación, adopción y/o adaptación de tecnologías apropiadas a cada circunstancia; conlleva a la representatividad espacial y sus resultados tienen alto potencial de aplicación, lo que fortalece el alcance y significado de las investigaciones. En este contexto, la importancia del enfoque de sistemas radica en que permite identificar las principales variables o factores que inciden en mayor medida en cada escala de análisis del sistema, aquellas que determinan mayormente el comportamiento del todo. Permite, también, identificar las intervenciones necesarias en cada escala.

De acuerdo con Aracil (1995), para hacer operativo el enfoque de sistemas, el análisis consiste primeramente en su disección, al menos conceptual, para establecer las partes o elementos que lo forman. Sin embargo, el mero análisis de un sistema no es suficiente, ya que no basta con saber cuáles son sus elementos. Para comprender su comportamiento se requiere saber cómo se integran y cuáles son sus mecanismos de funcionamiento. Se necesita saber cómo se produce la síntesis de los elementos del sistema.

En ese sentido, un sistema es una unidad cuyos componentes y elementos interaccionan continuamente y se afectan unos a otros, de modo que operan hacia una meta común y el sistema es capaz de mantener esa identidad a lo largo del tiempo y bajo entornos cambiantes. Ello explica que el comportamiento productivo actual de los sistemas agrícolas es el resultado de un complejo proceso histórico de interacciones físico-biológicas (regulado por un gran número de factores pertenecientes a cinco componentes básicos: el clima, el suelo, la planta, el animal y el social) y de manejo integral de los recursos (suelo, agua, flora local, agroforestal, agropecuario, medios y fuerza de trabajo) por parte del productor, el cual es condicionado por factores económicos, sociales, culturales y de políticas de apoyo institucional o local.

En la práctica, dicha explicación se logra mediante las fases de análisis y síntesis (Aracil, 1995; Park y Sealton, 1996) de un sistema definido, lo que permite su caracterización cualitativa y cuantitativa a través del análisis dinámico de ciclos productivos completos, así como la comprensión de los problemas que obstaculizan su desarrollo, la asignación de prioridades a la investigación y aportar información que contribuya a su planificación y desarrollo sostenible.

Para ello, es necesario la conceptualización del sistema bajo estudio, lo cual consiste en la obtención de una perspectiva y comprensión de los fenómenos del mundo real y que consiste, principalmente, en tres fases: 1) identificación y límites del sistema; 2) análisis de los elementos del sistema y 3) integración conceptual del sistema.

1) Los sistemas de producción agrícolas no tienen fronteras precisas, son sistemas abiertos y el hombre establece sus límites cuando desea conocer, medir o analizar sus elementos. La identificación y los límites del sistema puede basarse en:

- a. la problemática que lo afecta, los objetivos de producción, el manejo o la importancia del sistema de producción bajo estudio.
- b. la delimitación en tiempo y espacio (geográfica) de los factores físico-ambientales, biológicos, sociales, económicos, culturales o políticos prevalecientes.

2) El análisis de los elementos de un sistema comienza con la descripción de las características de cada uno de ellos (componentes, relaciones, entradas y salidas, límites). A esta fase de la investigación se le conoce como *analítica* (Bello, 1971; Aracil, 1995), y consiste en el fraccionamiento de un fenómeno en sus partes para el estudio separado de cada una de ellas.

3) La integración conceptual de un sistema se refiere a la influencia conjunta de los elementos que lo constituyen y los efectos sobre su comportamiento. Versa acerca de las relaciones causales o relaciones de causa-efecto que se manifiestan en las interacciones

que hacen cambiar el comportamiento o la naturaleza del sistema. A esta etapa de investigación se le conoce como *fase de síntesis*, la cual no puede darse sin previo análisis (Bello, 1971; Aracil, 1995; Park y Sealton, 1996).

La adaptación de los sistemas (y sus componentes) en el nuevo contexto

Problemática: la adaptación como atributo primordial de los sistemas sostenibles

Un sistema agrícola, como el descrito previamente, será sostenible si es capaz de reproducirse a sí mismo durante un tiempo razonable, y si puede cambiar oportunamente —cuando las condiciones así lo exigen— para seguir funcionando en el largo plazo. Para que esto ocurra, los recursos y procesos ecológicos y sociales que lo hacen funcionar deben ser capaces de reproducirse; y, por lo tanto, de autorregularse, de coordinarse para ser compatibles, de amortiguar oportunamente las perturbaciones coyunturales adversas, de reorganizarse y de adaptarse cuando se presentan cambios estructurales internos y externos.

De forma sintética, Conway (1987) define el concepto sostenibilidad como la habilidad de un sistema para mantener su productividad o utilizar el recurso sin reducir su existencia física a lo largo del tiempo, aun cuando sea sometido a estrés o perturbaciones fuertes. Estas acepciones genéricas de sostenibilidad se sustentan en el concepto de desarrollo sostenible (o desarrollo sustentable); el cual fue definido por primera vez en el Informe Brundtland (presentado en el libro *Nuestro futuro común*, en 1987, por la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo de la ONU) como aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones.

En las condiciones actuales, los sistemas agrícolas y ganaderos se enfrentan a perturbaciones frecuentes e impredecibles, provocadas por varios factores: los efectos adversos (directos o indirectos), fenómenos relativamente recientes como consecuencia del cambio climático, del calentamiento global y de las crisis económicas, financieras y energéticas, entre otros. Según las predicciones del IPCC (2014), dichos efectos (aleatorios, irregulares y, a veces, sorpresivos) responden a dinámicas que en el corto o mediano plazo, desafortunadamente, se seguirán acrecentando; y, en dependencia de su naturaleza, seguirán afectando a los sistemas en los diferentes niveles de su escala organizativa (es decir, por ejemplo, desde el nivel de función biológica de un individuo, hasta los niveles de organización de estructuras socioeconómicas).

Para hacer operativos los conceptos de sostenibilidad y desarrollo sostenible es necesario, entonces, analizar las cualidades de los atributos (o propiedades) que los sistemas agrícolas requieren mantener en equilibrio para lograr ser sostenibles. Entre los atributos de sostenibilidad de los sistemas agrícolas descritos en la literatura especializada, se encuentran los siguientes: productividad, estabilidad, adaptabilidad, resiliencia, equidad, y autogestión (o autodependencia) (Conway, 1985; Gliessman, 1990; 2007; Smyth y Dumanski, 1996). No cabe la menor duda que todos estos atributos son importantes para lograr los objetivos de sostenibilidad. Sin embargo, en tiempos de crisis, rompimien-

to o reorganización, el diseño y el manejo de sistemas productivos con mayor capacidad adaptativa y “resiliencia” resulta prioritario.

Las perturbaciones que sufre un sistema ocurren en diferentes escalas y pueden influir en: 1) su propio funcionamiento general o trayectoria, 2) las funciones y dinámicas de cualquiera de sus componentes de manera independiente, o 3) en las interrelaciones entre tales componentes y sus procesos. Dichos efectos se pueden considerar o clasificar como *estáticos o transitorios*; o, por el contrario, *dinámicos y persistentes* en tiempo y espacio.

Asimismo, las reacciones más naturales o espontáneas ante tales perturbaciones podrían considerarse como: 1) reacciones *desconocidas a fenómenos nuevos* en los sistemas de siempre (más tradicionales), o 2) reacciones *desconocidas en sistemas alternativos*, diseñados precisamente para hacer frente a *fenómenos relativamente nuevos*.

El grado de vulnerabilidad de los sistemas agrícolas dependerá entonces de: 1) la magnitud y naturaleza de los riesgos a perturbaciones internas y externas y, 2) de su capacidad de adaptación (y la de sus componentes) para construir resiliencia, a través del fomento de la combinación natural y estratégica de mecanismos de regulación o de acciones específicas de intervención, como los ajustes que hacen los agricultores para reducir los riesgos. Un sistema vulnerable habría perdido su resiliencia, en gran medida como consecuencia de la pérdida de su capacidad de adaptación. Los sistemas menos vulnerables serán considerados, en general, como resilientes, y estarían integrados por componentes robustos, adaptados y adaptables.

Cuando se habla de capacidad adaptativa de los agricultores se hace referencia a la combinación de un cúmulo de reservas individuales o colectivas de capital natural y humano que ellos tienen; y que incluye cualidades como conocimiento tradicional, destrezas y habilidades generales, y niveles de organización social (Altieri y Nicholls, 2013).

Conceptos y teorías que sustentan la adaptabilidad y que contribuyen a la sostenibilidad

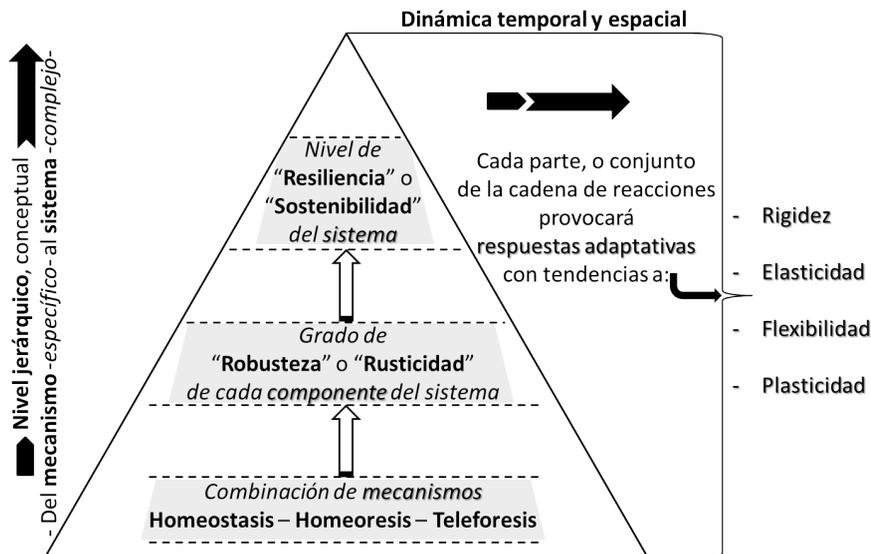
Jerarquía de conceptos:

Desde el punto de vista conceptual, existe controversia en la diversidad de interpretaciones (a veces ambiguas) en la utilización jerárquica de las diferentes definiciones comúnmente empleadas en el argot de la adaptación. En la figura 1 se propone un esquema conceptual sintético de las relaciones causales y jerárquicas de un sistema para interpretar las respuestas adaptativas.

El esquema muestra una estructura vertical (piramidal) que conduce, de manera estática, a la interpretación de una reacción determinada desde un nivel “inferior” (más básico o específico, por ejemplo, la célula o el genoma) hasta otro “superior” (más complejo, por ejemplo, el sistema socioeconómico). En su dinámica horizontal (espacio-temporal), se describen las respuestas posibles a obtener a partir de la conjugación más o menos coordinada y/o eficiente de reacciones en todos los niveles.

Figura 1

Representación conceptual (jerárquica y dinámica) de los términos comúnmente utilizados para interpretar las respuestas adaptativas de los sistemas.



- Un sistema (desde uno celular hasta uno socioeconómico) puede ser considerado (o no) como sostenible o resiliente.
- Dicha sostenibilidad o resiliencia dependerá del grado de *robusteza* (o *rusticidad*) de los componentes que integran el sistema (por ejemplo: en el caso de un sistema ganadero, el suelo, las plantas, los animales y el productor, quien desarrolla estrategias de manejo de acuerdo con sus herramientas, conocimientos, experiencia y habilidades).
- A su vez, el grado de *robusteza* de los componentes dependerá de su capacidad intrínseca para combinar más o menos eficientemente los *mecanismos* de *teleforesis*, *homeoeresis* y *homeostasis* con que cuenta.
- En su *evolución dinámica en el tiempo y el espacio*, un sistema, un componente o un mecanismo (o el conjunto de éstos) se podrá(n) calificar transversalmente como *rígido(s)*, *elástico(s)*, *flexible(s)* o *plástico(s)*, en función de la naturaleza de su(s) *respuesta(s)* ante las perturbaciones.

Los múltiples conceptos del enfoque de sistemas y de las propiedades de los sistemas y sus elementos contribuye, de una manera u otra, a la comprensión del carácter "robusteza", emergente de sistemas complejos y que combina mecanismos en los niveles estructurales y funcionales. La sinergia de las regulaciones que se produce con la combinación de los mecanismos de teleforesis y homeoeresis es un ejemplo de ello (Monod, 1970; Chilliard, 1986; Bauman y Currie, 1980).

La robusteza es una propiedad de adaptabilidad poco fácil de cuantificar debido a la complejidad de los fenómenos biológicos subyacentes, como la información genética y las diferencias interindividuales, por ejemplo. Monod (1970) afirma que los seres vivos son “objetos dotados de un proyecto o plan”, y llama teleonómico a todo aquello que contribuye al éxito del plan o proyecto teleonómico.

El proyecto o plan de todo organismo estaría encerrado en su material genético, el cual no es posible observar. El concepto de proyecto teleonómico de los organismos vivos (Monod, 1970) sirvió de base para prever dos niveles de regulación: 1) que asegura el monitoreo de una “trayectoria de vida” y 2) para adaptarse a las desviaciones de la trayectoria como reacción a una perturbación (Sauvant y Martin, 2010).

La *homeostasis* es la propiedad de retorno a un *estado de equilibrio*. Por ejemplo, cuando un animal mantiene estable su temperatura corporal interna, a pesar de las fuertes variaciones de la temperatura exterior (hipertermia o hipotermia), estará manteniendo su homeostasis mediante respuestas comportamentales (ejemplo: regulación de la actividad física) o funcionales (ejemplo: dilatación o contracción de los vasos sanguíneos para favorecer la transmisión de calor por radiación).

La *homeoresis* o *teleophoresis* (Bauman y Currie, 1980; Chilliard, 1999), por su parte, es la propiedad de retorno a una *trayectoria de equilibrio*. Bauman y Currie (1980) propusieron los términos homeoresis o teleoresis para describir una serie de mecanismos, los cuales son capaces de (re)orientar los flujos metabólicos, con el objetivo de garantizar una función fisiológica determinada. El término teleoforesis es propuesto por Chilliard (1999), al preferirse desde el punto de vista etimológico (significado de “teleo”: orientación hacia un objetivo; significado de “foresis”: transporte).

Un ejemplo típico de homeoresis o teleophoresis ocurre con la llegada de la lactación, en la que la secreción de la glándula mamaria se mantiene gracias a una serie de controles neuroendocrinos (galactopoyesis) desencadenados por el amamantamiento o el ordeño. Los estímulos normales o naturales del metabolismo de la glándula mamaria en esta etapa se acompañan por un fuerte aumento en los requerimientos, en el caso de hembras seleccionadas por su alto potencial productivo. Dichos requerimientos son parcialmente satisfechos por un mayor aporte de nutrientes, el cual se garantiza mediante el aumento de la capacidad de ingestión, de digestión y del metabolismo hepático, además de un aumento en la movilización de las reservas corporales disponibles.

Por otra parte, la utilización de nutrientes limitantes (glucosa, aminoácidos esenciales, etcétera) se reduce en órganos de “baja prioridad”, buscando beneficiar la glándula mamaria. Estos cambios estarán acompañados de un incremento y mejor redistribución del flujo sanguíneo, principalmente al nivel del corazón, de la glándula mamaria, el tracto digestivo y el hígado. Todo lo anterior, en su conjunto, desemboca en una regulación coordinada (homeoresis o teleophoresis) del metabolismo de diferentes órganos y tejidos; para asegurar, en todo momento, un suministro adecuado de nutrientes a la glándula mamaria sin sacrificar el resto de funciones.

Ambos conceptos (homeostasis y homeoresis o teleoforesis) están implicados en la construcción de la robusteza individual de especies vegetales y animales y, para com-

prenderlos y estar en condiciones de medirlos, tendremos que tenerlos en cuenta a ambos a la vez.

Asimismo, la definición clásica de la adaptación de los sistemas implica los términos “robusto” o “rústico” como expresiones resumidas y conocidas de la propiedad adaptativa.

Por “robustez” entendemos la capacidad de un sistema de ser autónomo, es decir, de adaptarse a las perturbaciones del medio ambiente (Friggens *et al.*, 2010), de mantener un nivel de producción adecuado en una diversidad de condiciones medioambientales, sin sacrificar ninguna de sus otras funciones. Para hacer frente a una perturbación, la “robustez” es un sistema jerárquico que pone en juego diferentes caracteres biológicos.

Un sistema “robusto” será considerado como un sistema sólido, sano, fuerte, firme, vigoroso y resistente gracias a su estructura, por lo que se puede considerar próximo al concepto de rigidez. Sin embargo, en los organismos vivos, puede decirse que la robustez se alimenta de regulaciones de su funcionamiento (homeostasis) y de la combinación de propiedades de elasticidad y flexibilidad que confieren capacidad a la adaptación y a la supervivencia. De manera similar, puede decirse que las propiedades de plasticidad aseguran la perennidad de las especies a pesar de las modificaciones del medio.

Un sistema “rústico” —por su parte— es, a su vez, robusto; resistente a las perturbaciones, con pocas exigencias o demanda de cuidados y atenciones especiales.

En general, el término rústico hace referencia a un sistema donde las exigencias son mínimas, y es poco afectado por las perturbaciones. En cambio, el término robusto hace referencia a la capacidad de mantenerse frente a las adversidades, y gracias a sus reacciones, estos sistemas son poco afectados.

Los sistemas de producción animal están, por naturaleza, estructurados en diferentes niveles de organización espacio-temporal que, en general, les confiere un carácter dinámico y complejo (figura 1).

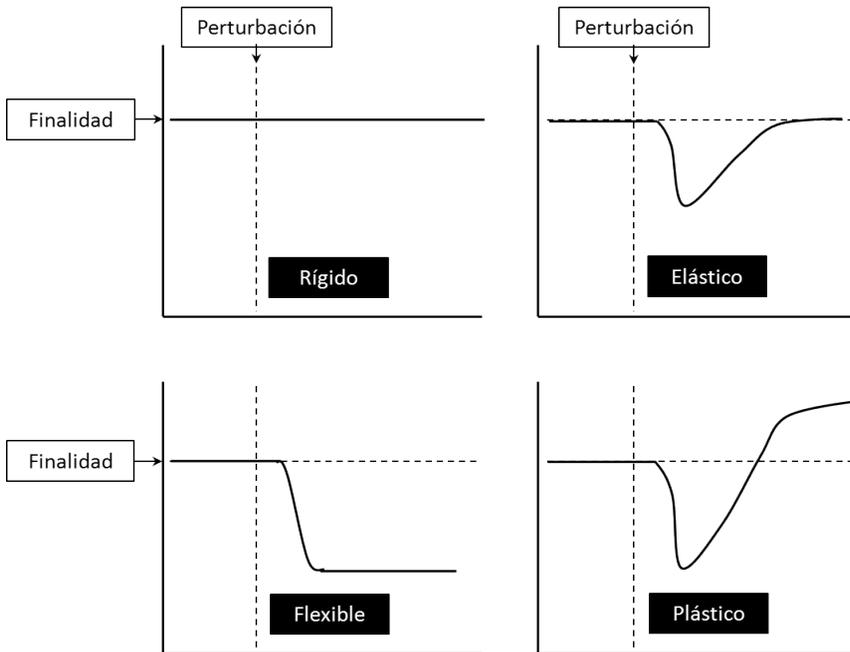
Las *escalas espaciales* van desde el nivel celular hasta otro tan vasto y agregado como la localidad, el sector o la región en que se desarrollan dichos sistemas. La *escala temporal*, por su parte, corresponde a la noción de paso de fracciones de segundo o minutos en una reacción bioquímica, por ejemplo, hasta la noción de años o vida productiva de individuos o rebaños enteros.

Las múltiples regulaciones asociadas determinarán, entonces, las características de la serie de respuestas adaptativas posibles a obtener en el espacio y el tiempo. De manera general, se considera que la capacidad de adaptación confiere cierta estabilidad (de estructura, de funcionalidad, de finalidad) al sistema frente a los cambios; lo cual, *a posteriori*, estará estrechamente relacionado con su grado de autonomía.

Las diferentes modalidades de respuesta adaptativas de los sistemas a las perturbaciones pueden estar relacionadas, entonces, con nociones de resistencia (ocurre en sistemas rígidos), deformación (en sistemas elásticos o flexibles) o transformación (en sistemas plásticos) (Alcaras y Lacroux, 1999; Bocquier y González-García, 2010). Estas respuestas (figura 2), ocurren en un contexto de perturbaciones dinámicas, con frecuencia de origen múltiple y sometidas a eventos recurrentes o acumulativos, como los efectos de las variaciones climáticas sobre la disponibilidad estacional de forraje.

Figura 2

Modalidades de respuestas adaptativas dinámicas en un sistema perturbado.



Fuente: adaptado de Sauvant y Martín (2010).

Los *sistemas rígidos* no se adaptan a las perturbaciones externas, no deforman su estructura y no modifican su finalidad u objetivo, lo que puede conllevar a una ruptura eventual (por ejemplo: muerte del individuo o fracaso del proceso de producción y comercialización).

Los *sistemas elásticos*, en cambio, se adaptan modificando transitoriamente su estructura, y su resiliencia es proporcional al grado de su máxima deformación. Sin embargo, su finalidad no se modifica, por lo que se habla de estabilidad teleonómica (Monod, 1970). La homeostasis, pone en práctica las propiedades elásticas de los seres vivos frente a las perturbaciones a las que se enfrenta. De manera similar, las adaptaciones “tácticas” de los sistemas a veces conducen a propiedades elásticas.

Los *sistemas flexibles* se adaptan a las perturbaciones gracias a la capacidad de modificar su estructura sin modificar la finalidad u objetivo, o viceversa, modificando la finalidad sin cambiar su estructura. La flexibilidad implica, por lo general, la capacidad de adoptar una gama de formas posibles.

Los *sistemas plásticos* se adaptan gracias a la capacidad que tienen de modificar su estructura al tiempo que se adaptan a nuevas finalidades u objetivos. Por ello, la plasticidad se comprende como la facultad de adoptar formas y la capacidad de cambiar de forma. La evolución de los seres vivos ofrece un sinnúmero de ejemplos de plasticidad de especies en respuesta a las modificaciones y las limitaciones del medio.

Estrategias adaptativas

Las posibles respuestas de adaptación de un sistema ante situaciones perturbadoras se fortalecen al estimular su capacidad adaptativa en sus diferentes niveles.

A la escala del sistema, dichos principios pasan por: 1) el desarrollo de la “profilaxis” o prevención, es decir, la capacidad de prever la ocurrencia de los posibles eventos negativos con sus efectos acompañantes (para disminuir o anular el factor sorpresa); 2) crear las condiciones para responder de forma oportuna y eficiente ante eventos con posibilidades de ocurrencia; 3) dotarse de prácticas de manejo flexibles y con márgenes de maniobra ante fenómenos de diversa índole. El conjunto de estos principios debe conducir, *a priori*, a estimular la autonomía de los sistemas. Un sistema menos dependiente sufrirá en menor medida los cambios externos, eventuales e impredecibles, deviniendo así en un sistema menos frágil o más resiliente y sostenible.

A la escala de los componentes se trataría de dotar al sistema de componentes robustos, flexibles y con capacidad de reacción conocida ante los cambios. Tal es el caso del establecimiento de sistemas silvopastoriles, diseñados con varios estratos florísticos en su arquitectura (incluyendo simultáneamente especies herbáceas, arbustivas y/o arbóreas), de manera que la producción de biomasa aporte rendimientos complementarios en el tiempo y el espacio y que la composición botánica sea capaz de desarrollar mecanismos de alternancia; por ejemplo, ante el ataque de una plaga o enfermedad a una de las especies o variedades que integran la unidad de pastoreo.

Para comprender bien los procesos adaptativos, el objeto de estudio debe ser concebido como un sistema en sus múltiples formas y niveles existentes. El sistema debe ser visto como un objeto definido por sus fronteras y los elementos que lo integran; los cuales, a la vez, estarán conectados entre sí y con el exterior por un conjunto de redes de flujo de materia y de información en sentidos variables y diversos (Sauvant y Martín, 2010).

Por lo general, existe una fuerte conexión entre la biodiversidad de los sistemas y la resiliencia: mientras más diversos sean los sistemas, éstos tienden a ser más estables y más resilientes, lo que promueve una mayor capacidad de autorregulación.

El diseño de sistemas agropecuarios con bases agroecológicas permite: 1) la integración de los recursos locales, 2) la incorporación del conocimiento ancestral asociado al actual, 3) la disminución de las externalidades negativas, y 4) la búsqueda de la armonía a través de las relaciones humanas con la naturaleza. Por ello, los sistemas agroecológicos con posibilidades de resiliencia, se basan en la aplicación de diversos principios (Reinjets *et al.*, 1992):

- Aumento del reciclado de biomasa, optimización de la disponibilidad y flujo balanceado de nutrientes.
- Aseguramiento de las condiciones favorables del suelo para el crecimiento de las plantas; particularmente, a través del manejo de la materia orgánica y aumento de la actividad biótica del suelo.
- Aumento de la eficiencia del sistema debido al flujo de la radiación solar, el aire y el agua mediante el manejo del microclima, cosecha de agua y manejo de suelo a través del aumento de la cobertura.

- Diversificación específica y genética de los agroecosistemas en tiempo y espacio.
- Incremento de las interacciones biológicas y de las sinergias entre los componentes de la biodiversidad al promover procesos y servicios ecológicos claves del sistema.

Estos cinco principios fueron adaptados recientemente a los sistemas de producción animal por Dumont *et al.* (2013), quedando formulados de la siguiente manera:

1. Adopción de prácticas de manejo conducentes a mejorar la salud animal (con énfasis en profilaxis y prevención).
2. Disminución significativa de los recursos provenientes del exterior del sistema (disminución de la dependencia) requeridos para garantizar una producción estable.
3. Disminución de la polución a través de procesos de optimización de los mecanismos (biológicos, biotécnicos y de gestión) e interrelaciones entre los componentes del sistema.
4. Estimulación de la diversidad de sistemas.
5. Preservación de la diversidad biológica intrínseca de cada sistema y de los agroecosistemas en general, a través de la adaptación de prácticas de manejo.

Las bases para lograr la resiliencia a partir de estrategias de intervención en el sistema, pasan por el desarrollo de un enfoque de integración en el manejo de los recursos, e interacción entre componentes dentro del sistema y con el exterior, orientadas a la adaptación en las diferentes escalas del sistema.

En este contexto, la integración es considerada como una de las alternativas más aconsejables en la búsqueda de soluciones o intervenciones durables en el contexto actual del desarrollo de los sistemas agrícolas y ganaderos. Existen evidencias de que con buenas estrategias de integración (de los recursos con que se cuenta, de las simbiosis que ocurren entre los ciclos vitales implícitos, de los cambios sucesionales y de los puntos de conexión entre los diferentes componentes del sistema) se aumenta la resiliencia de dichos sistemas.

En síntesis, podemos decir que a medida que se reducen los riesgos a perturbaciones mediante intervenciones o mecanismos de regulación apropiados, aumenta la capacidad de adaptación, lo que conlleva a mayor resiliencia y reducción la vulnerabilidad de los sistemas agrícolas y ganaderos.

Estudios de casos concretos

En el siguiente apartado se desarrollan tres estudios de casos que ilustran la aplicación de algunos de los conceptos discutidos en las secciones anteriores y en los cuales se han aplicado con éxito diferentes tecnologías para el desarrollo de la ganadería, en diferentes regiones latinoamericanas (dos en México y uno en Cuba). Como se discute en cada uno de ellos, la aplicación de los conceptos y principios de la integración y la adaptación constituyen pilares fundamentales en la garantía de la resiliencia y/o sostenibilidad de estos sistemas.

1. Transición de la ganadería bovina de doble propósito hacia la producción orgánica en Chiapas

Las experiencias de investigación e innovación socio-ambiental en sistemas agro-silvopastoriles (SASP) y de transición de la ganadería convencional hacia la orgánica, en el municipio de Tecpatán, Chiapas, se orientan hacia el desarrollo de las capacidades locales de los productores, organización social (grupos de trabajo, cooperativas, etcétera) y gestión en el corto, mediano y largo plazo para lograr la eficiencia funcional y la sustentabilidad de sus sistemas productivos actuales.

Tecpatán se localiza al sureste de México; tiene un clima cálido-húmedo con abundantes lluvias en verano, cuyo promedio de precipitación total anual es de 1,932 mm. La altitud promedio es de 320 msnm y la topografía es accidentada. Predomina el SASP tradicional de ganado bovino de doble propósito con el objetivo de producir leche y becerros al destete para la venta.

Este sistema se caracteriza por: 1) unidades de pastoreo con un gradiente de arborización que va desde pastizales extensivos (sin árboles) hasta pastizales con cercos vivos, con arbustos y/o acahuals, con árboles dispersos utilizados de forma alterna durante el ciclo anual; y 2) porque mantiene relaciones de interdependencia con los sistemas agrícolas y forestales por flujos de energía y circulación de materiales a través del abonado de cultivos con estiércol, alimentación del ganado con residuos agrícolas y con follaje de árboles.

El proceso de innovación socio-ambiental seguido para obtener la certificación orgánica consta de seis fases: 1) Evaluación de unidades ganaderas; 2) Capacitación y fortalecimiento de capacidades de productores y técnicos sobre tecnologías agroecológicas y uso de sustancias permitidas, restringidas y prohibidas por la normatividad orgánica (manejo alimenticio, manejo sustentable de pastizal, fertilización orgánica del suelo, control ecológico de malezas, control ecológico de plagas, profilaxis y cuidados médicos veterinarios, raza y reproducción, bienestar animal, inocuidad de productos y gestión ecológica); 3) Gestión ante instituciones gubernamentales; 4) Implementación y seguimiento de control interno en cada unidad de producción ganadera familiar (UPGF); 5) Inspección y certificación orgánica; y 6) Comercialización y escalamiento.

Funcionamiento y productividad en función de la disponibilidad de tierra

En el modelo conceptual de la figura 3, se sintetizan las 12 relaciones básicas del SASP de producción bovina. Se observa que los componentes del SASP mantienen relaciones de interdependencia entre sí; y, a su vez, el comportamiento específico del SASP es un resultado de las características particulares del modo de vida (MV) de cada UPGF.

A su vez, los MV se comportan en función de: 1) las estrategias de vida, basada en la estrategia de ingreso de la UPGF (de la agricultura, ganadería, ingreso extra UPGF, autoabastecimiento); 2) los capitales (natural, social, humano, financiero y físico); 3) el contexto de vulnerabilidad (precios de mercado, riesgo ambiental y en la salud, etc.);

y 4) el contexto institucional local y externo (política, leyes, contexto económico). De esta forma, el comportamiento específico promedio del SASP de producción bovina de Tecpatán, Chiapas, muestra los siguientes resultados.

En promedio, los productores tienen 58 (± 9.5) años de edad y escaso nivel de formación; están organizados en asociaciones ganaderas y sociedades de producción rural (SPR), y aunque reciben escasa capacitación (29%), asistencia técnica (23%) y apoyo crediticio (25%), el 94% de ellos tienen la perspectiva de continuar con la ganadería.

Algunos productores contratan trabajadores fijos (39%), eventuales (44%) o de ambos tipos (18%). El SASP de producción bovina muestra bajo grado de desarrollo tecnológico y bajo uso de insumos externos. Los animales son de raza Cebú y del biotipo criollo, encastados con algunas razas europeas, entre las que predominan Suizo, Holstein, y en menor proporción, Simmental.

Las vacas se ordeñan una vez al día (97%) y de forma manual. El número de vacas en ordeña es de 20.2 (± 11.7), la producción de leche diaria es de 4.8 (± 0.1); lluvias: 5.5 y seca: 4.1 litros por vaca y la anual es de 1,183.0 (± 4.3) litros por vaca en un periodo de 7.5 (± 0.1) meses. El semental permanece todo el tiempo con las vacas, por lo que el empadre ocurre mediante monta directa.

Ello se refleja en que los becerros nacen en cualquier momento del año y el destete se presenta de forma natural. La leche se vende a las empresas Pradel (97.30%) y Nestlé (1.30%) y a los queseros artesanales (1.30%). Todos los becerros son vendidos al destete, a los 7.8 (± 0.9) meses de edad, para ser engordados en otras regiones de México. El margen neto por vaca al año es de 2,408.9 (± 212.5) pesos, y el total de beneficiarios de la familia por UPGF es de 3.9 (± 0.6) personas. La venta de leche, becerros al destete y vacas de desecho, son las principales fuentes de ingresos del productor y presentan serios problemas de intermediarismo en la comercialización. Algunos cálculos/ha y años disponibles o estimados son los siguientes:

Forraje. La producción de forraje anual con cosechas cada 45 días es de: *Cynodon plectostachyus* (16.6 ± 1.3 kg MS/ha), *Brachiaria brizantha* (18.4 ± 2.2 kg MS/ha) y *Panicum maximum* o mombasa (41.0 ± 5.2 kg MS/ha).

Leche. En promedio, una vaca produce 4.50 l de leche/d, y considerando una lactancia de 8.7 meses, una vaca produce 1,174 l de leche/año. A partir de los datos previos y considerando que cada UPGF cuenta, en promedio, con 20.2 vacas en ordeña (total=23,715 l) y 33.50 ha, se estima una producción de 707.10 l/ha/año.

Carne. Partiendo de que las UPGF cuentan, en promedio, con 20.2 vacas en ordeña, con tasa de natalidad de 73% y mortalidad de becerros de 5.80%, éstas logran vender anualmente 13.1 becerros de 290 kg y una vaca de desecho de 450 kg que suman en total 4,249 kg de carne de animales en pie. Cada UPGF cuenta, en promedio, con 33.50 ha de tierras de pastoreo; por lo que se estima una producción de 127 kg/ha/año de carne de animales en pie.

Margen neto. Cada UPGF obtiene del SASP de producción bovina un total de 246.7 €/vaca/año. Esto, al considerar un tipo de cambio de 18.19 pesos por €, arroja un total de \$4,487.50 pesos mexicanos/vaca/año. A partir de los datos previos y tomando en cuenta

que cada UPGF cuenta, en promedio, con 20.2 vacas en ordeña (total= \$90,647.50 pesos /vaca/año) y 33.50 ha, se estima un margen neto de \$2,706 pesos/ha/año.

Los sistemas silvopastoriles y la ganadería orgánica como herramientas para la adaptación

Debido a que la adaptación es un atributo de los sistemas, relacionado con la capacidad de cambio e innovación, en este caso de estudio, las innovaciones socio-ambientales orientadas al desarrollo sustentable de SASP y de ganadería orgánica constituyen herramientas para afrontar diversos problemas, como por ejemplo:

I) La dependencia de insumos del exterior, ya que los SASP y la ganadería orgánica parten principalmente del uso de recursos locales.

II) Económicos, como los altos costos de los insumos, y bajo precio de venta de productos ganaderos (carne, leche, quesos), el cual puede mejorar mediante la producción amigable con el ambiente y la certificación orgánica de productos de alta calidad e inocuidad, lo que se traduce en una mejor relación inversión-margen neto a nivel de sistema de producción.

III) Cambio climático. Los SASP y la ganadería orgánica en general contribuyen a: a) mitigar los efectos del cambio climático mediante la captura y almacenamiento de C, principalmente con la siembra de árboles y el incremento de la materia orgánica del suelo; b) reducen las emisiones de CO₂ evitando la quema y la deforestación, porque ejercen menor presión sobre los bosques y selvas; c) disminuyen las emisiones de óxido nitroso mediante la disminución del uso de fertilizantes nitrogenados, y el aumento de la fijación biológica de nitrógeno atmosférico al suelo con el uso de especies leguminosas, así como favorecer la vida en el suelo; d) disminuyen las emisiones de gas metano al ofrecer a los animales forrajes diversos y de mejor calidad nutritiva, mayor digestibilidad y mejor patrón de fermentación ruminal; y e) aminoran el impacto de la lluvia en el suelo, con lo cual se incrementa la capacidad de infiltración y retención del agua y se disminuye la escorrentía superficial.

La adaptación y la mitigación del cambio climático mediante SASP y ganadería orgánica, en particular, ofrecen múltiples beneficios productivos ; y generan, en comparación con los sistemas convencionales, servicios ambientales a favor de la sociedad, tanto a nivel local/productor, como regional/paisaje y global. Mediante capacitación continua a los productores sería posible aumentar la capacidad de adaptación y la resiliencia, mejorar la productividad y la sostenibilidad del SASP y de las ganaderías orgánicas estudiadas, mejorar la calidad de vida de las familias, así como motivar a los jóvenes a continuar con esta actividad productiva.

Se trata de sistemas ganaderos con diversos mecanismos de integración con los sistemas agrícolas y forestales. Son sistemas silvopastoriles tradicionales con presencia de árboles forrajeros y no forrajeros en las unidades de pastoreo, ya sea dispersos o en cercos vivos. Además, se han establecido algunos bancos forrajeros, utilizando especies nativas o naturalizadas bien adaptadas a las condiciones de la región.

Los requerimientos alimenticios de los hatos están determinados por la cantidad de tierra disponible y los productores hacen los ajustes apropiados en tiempo y espacio,

desechando animales, vendiendo becerros e incorporando hembras de reemplazo seleccionadas por su alto potencial genético.

El 100% del forraje que requieren los animales es producido en la propia unidad ganadera, por lo que no dependen del exterior.

Se fomenta la fertilización orgánica mediante el procesado del estiércol de los animales o utilizándolo directamente para fertilización de las unidades de pastoreo. El control de malezas y plagas y enfermedades, así como el bienestar animal, la profilaxis y los cuidados médicos veterinarios de los animales están basados en la normatividad orgánica, con bajo uso de insumos externos. Se eligen razas de ganado adaptadas a las condiciones de la región, observado en la eficiencia reproductiva y baja mortalidad.

2. Módulos agroforestales (MAF) para la producción caprina en Cuba

La tecnología de los módulos agroforestales (MAF) fue desarrollada por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), de Costa Rica; e introducida en Cuba en el año 1995, a partir de la necesidad de incorporar nuevos sistemas y estrategias de producción agrícolas capaces de combinar buenos rendimientos productivos y autonomía o independencia en la utilización de recursos externos.

Con profundo criterio de sostenibilidad y reciclaje, este sistema se basa en la combinación y manejo eficiente de tres elementos principales: 1) la garantía de una instalación rústica (construida con recursos accesibles para el pequeño y mediano productor), 2) el establecimiento de un banco forrajero con alta productividad por unidad de área para el corte y acarreo, capaz de cubrir los requerimientos nutricionales del total de animales durante el año, y 3) el confinamiento 100% del tiempo de un rebaño genético de mediano a alto potencial para el carácter lechero (González, 2003).

Para el establecimiento de la infraestructura necesaria, el productor debe considerar en un inicio la calidad y extensión de tierra disponible, la posición dentro del agroecosistema, la disponibilidad de fuentes de abasto de agua y las vías de comunicación y acceso.

El buen establecimiento de la plantación forrajera de morera (*Morus alba*) y king grass (*Pennisetum purpureum*), con la densidad y el vigor de plantas deseados y lista para el corte y acarreo, resulta esencial para el buen funcionamiento de este sistema. El mismo, se puede lograr efectuando la siembra en la época óptima (lluviosa), con una densidad de plantación adecuada (25,000 plantas de morera/ha) y ejecutando, además, las labores de limpieza frecuente de malas hierbas y la fertilización orgánica durante el año de establecimiento.

Funcionamiento y productividad en función de la disponibilidad de tierra

(Cálculos/ha disponible):

Una hectárea de un banco forrajero en esta tecnología comprende alrededor del 30% del área destinada a la plantación de king grass (0.3 ha) y el 70% para la plantación de morera (0.7 ha) (figura 3). Si se tiene en cuenta un rendimiento forrajero promedio

de 15 y 2.5 t de materia seca (MS) comestible/ha/año para cada una de estas especies, respectivamente, se puede considerar, entonces, que en el periodo de un año, dicho banco forrajero será capaz de producir un total de 5.2 t de MS de forraje comestible/año (4.4 t a partir del king grass y 0.8 t a partir de la morera).

Por otra parte, considerando que una cabra de este rebaño (~40 kg de peso vivo) requiere alrededor de 3.50 kg de MS en un día promedio del año (dejando un margen al rechazo), para la ración propuesta en esta tecnología, se estaría hablando de la necesidad de aportar alrededor de 2.50 y un kg de MS a partir del forraje troceado de king grass y morera (70 y 30%, respectivamente) por cabra por día.

Con la disponibilidad total de forraje comestible mencionada anteriormente (5.2 t MS comestible/ha/año: 4.4 y 0.8), una hectárea de este banco forrajero daría la posibilidad de contar con siete hembras reproductoras con los requerimientos nutricionales cubiertos durante todo el año. Estos cálculos se pueden extrapolar en función de la disponibilidad de tierra con que se cuente.

Los ingresos económicos y los reciclajes que se producen en el sistema se generan a partir de las producciones de leche, de cabritos de destete, de leña a partir de los residuos fibrosos de morera, de pieles y de estiércol (figura 3).

Leche. Una cabra de un rebaño de genotipo mestizo en Cuba puede producir alrededor de 1.50 litros de leche/día en lactancias de aproximadamente 240 días (ocho meses), como promedio. Al lograr cerca de un 70% de cabras en ordeño durante el año, se puede estimar que este sistema es capaz de producir alrededor de 1,800 litros de leche/ha al año.

Cabritos destetados. Con una fertilidad promedio de 1.10 partos por cabra por año, una prolificidad de 1.60 crías nacidas vivas por parto y una mortalidad desde el parto hasta el destete (120 días) de alrededor del 8%, se puede alcanzar una producción anual de 11 cabritos destetados con el rebaño de siete cabras, alimentados por la hectárea de banco forrajero. Si tenemos en cuenta un peso al destete de unos 15 kg, este sistema sería capaz de producir 170 kg de cabritos destetados al año.

Leña. La producción de leña (ramas fibrosas no consumibles por los animales y restos post-cosecha) constituye un importante sub-producto del sistema que sirve para reforzar la autonomía energética de la finca. Las ramas, una vez recolectadas, son almacenadas en un punto donde se finalizará el proceso de secado. Una vez secas, podrán ser utilizadas como leña para la cocción de alimentos, las cuales son quemadas y aprovechadas para la producción de *energía*; o, simplemente molidas y aprovechadas, por ejemplo: como aserrín a utilizar en forma de cama en el secado del piso de la nave de estabulación.

Esta producción varía en función de la interacción entre la altura y frecuencia de corte de la plantación de morera (Noda *et al.*, 2010). Para una altura de corte de 50 cm la producción de leña puede oscilar entre tres y 16 g/planta/corte (66 y 410 kg/ha de 25,000 plantas/corte) en seca y lluvia, respectivamente, a una frecuencia de corte de dos meses (60 días).

Cuando la frecuencia de cosecha disminuye a cuatro meses (120 días), estos valores pueden aumentar hasta las 2.80 t de leña/ha/año (0.8 y 2.0 t para seca y lluvia, respectivamente). Cuando la altura de corte aumenta a 100 cm, las producciones anuales se

mantienen relativamente similares a las anteriormente mencionadas: 545 (115 y 430, seca y lluvia) y 2,700 (600 y 2,100; seca y lluvia) kg/ha/año para las frecuencias de corte de 60 y 120 días, respectivamente.

Estiércol. Un caprino adulto produce alrededor del 4% de su peso vivo diario en excreta. Si se tiene en cuenta que el sistema en cuestión alberga siete cabras de aproximadamente 40 kg (13 kg diarios de excreta) más un semental de alrededor de 50 kg (16 kg diarios de excreta) y su descendencia con “presencia relativa” (animales en crecimiento), la producción anual de *fertilizante orgánico*, por esta vía, sería del orden de las 10 t.

Esta producción de estiércol de alta calidad, completamente destinada a retribuir los nutrientes extraídos del banco forrajero (figura 4), permitiría un excelente ritmo de fertilización anual, de más de 800 kg/ha de estiércol en forma de humus. La fertilización se lleva a cabo mediante la aplicación directa del humus producido por las eyecciones depositadas por los animales en la nave estabulada y directamente recolectada (una vez por semana) debajo del piso, en función del grado de descomposición (el estiércol fresco no se recoge, se deja descomponer y lo que se aplica es en el estado de humus).

Piel. Por otra parte, cada año la tasa de remplazo de hembras para la reproducción (~20 %) permite la salida del sistema de una a dos cabras/ha de banco forrajero disponible en la finca. Al partir de un rendimiento de aproximadamente 0.50 m² de piel por animal esta producción puede considerarse relativamente insignificante para la economía de la explotación; sin embargo, no se debe despreciar el óptimo *valor artesanal* de este producto, incluso en los objetivos de construcción y mantenimiento de la nave de estabulación y su sala de ordeño.

Entre otras ventajas de los MAF, con relación al sistema de pastoreo extensivo imperante (anteriormente, en la producción caprina de la isla), se pueden mencionar los efectos positivos en el control del parasitismo gastrointestinal (disminución en más de un 70% con respecto al sistema en pastoreo), la disminución de las frecuentes lesiones a nivel de la ubre por tropiezos con plantas y otros objetos punzantes, la significativa disminución de los requerimientos energéticos del rebaño al permanecer estabulados los animales (energía neta en función de la producción láctea y el mantenimiento) y la optimización en la utilización de la tierra agrícola disponible.

Las estrategias de integración y adaptación como parte de las “claves de éxito” de los MAF

Integración:

Un aspecto clave del funcionamiento estable que se logra con la tecnología de los MAF radica en el alto sentido de integración de todos sus componentes, el cual se tiene en cuenta desde el propio momento del diseño de la finca a fomentar con este sistema. De acuerdo a la aplicación de principios clásicos de zootecnia, la cantidad de tierra destinada al establecimiento del banco forrajero (soporte casi unánime de la alimentación de los MAF) estará determinada por los requerimientos del rebaño que se planifica, y/o viceversa (en función de la tierra que se dispone, así será la magnitud del rebaño a establecer).

Dichos requerimientos serán vistos con una noción dinámica en tiempo (por ejemplo: paso por diferentes fases fisiológicas, productivas) y en espacio (por ejemplo: progresión de la conformación complementaria, interna de las diferentes categorías del rebaño).

Desde el propio momento del diseño, además, se tienen muy en cuenta las características particulares de la especie forrajera que soporta el sistema de alimentación, en este caso la morera. Se consideran también las particularidades del entorno o medio específico de la finca (por ejemplo: propiedades del suelo local).

Al tratarse de una planta altamente extractiva (alta producción de biomasa y planta no leguminosa) el sistema se ve obligado a concebir una alternativa interna viable para reponer al suelo, con la misma frecuencia, los altos volúmenes de nutrientes que extrae para alimentar los animales. Para ello, una fertilización orgánica se coordina al mismo ritmo que se efectúan las cosechas de forraje durante el año y con el paso del tiempo. Esta fertilización orgánica se logra con la recuperación sistemática y total de las deyecciones de los animales (recuperación que se logra de manera práctica gracias al diseño del suelo de la nave, “adaptado” a las características de las pezuñas de los animales y al diámetro de las heces del caprino).

Este es sólo un ejemplo del conjunto de mecanismos de integración que ocurren en el seno de los MAF, básicos para el funcionamiento regular de esta tecnología y que llegan a incorporarse de manera casi automática en el saber-hacer cotidiano del ganadero. Pareciera algo simple, pero si el conjunto de estos detalles no se tiene en cuenta, o se cometen errores de cálculo y/o de calibración desde un inicio, estaríamos estableciendo un sistema llamado al fracaso, frágil, con dependencia casi absoluta del exterior, por ejemplo, en el suministro de forrajes y de fertilizantes del exterior.

Adaptación:

Lo anterior implica, a su vez, el engranaje estratégico de una serie de mecanismos internos de adaptación, ya sea a los niveles de los componentes del sistema, como en el manejo dinámico de éste. Un ejemplo claro es la elección de la raza más adaptada a las condiciones de la localidad que se trate.

Una combinación de potencial productivo con eficiencia digestiva para la degradación de dietas tropicales, básicamente fibrosas, es recomendada *a priori*. La resistencia a los ataques de parásitos gastrointestinales pasa a un segundo plano de prioridad, lo cual constituye una “curiosidad” excepcional, si tenemos en cuenta que estas enfermedades son las que más afectan la producción de pequeños rumiantes en el trópico (~50% de productividad).

Esta independencia casi absoluta de los antiparasitarios químicos se logra gracias a la estrategia de estabulación total, separadas a casi dos metros de la superficie del suelo. Se trata, en principio, de una tecnología de bajos insumos para productores con bajos recursos; sobre todo de acceso a la tierra, típico de la economía familiar, de pequeña y mediana escala.

Otra estrategia de adaptación lo constituye la sincronización de los ciclos zootécnicos con la disponibilidad local de subproductos agroindustriales (por ejemplo: la cascarilla de cítrico, excelente suplemento energético para el ganado). Los mecanismos de teleforesis

a los niveles individuales y colectivos (rebaño) se favorecen de manera significativa en función de objetivos productivos mucho más ambiciosos y en soporte de un uso mucho más racional del volumen de forraje producido en la misma finca.

Esta “planificación estratégica” depende en gran medida de la “capacidad adaptativa” del productor y sus lazos inter-relacionales con los mecanismos y decisores de las industrias locales. Dicha capacidad ayudará en mayor o menor cuantía a garantizar la autonomía forrajera alimentaria de su finca, sin tener que acudir a la compra de concentrados de altos precios, inaccesible en la mayoría de los casos para este tipo de productores.

3. Sistemas silvopastoriles en ganadería bovina de doble propósito en el trópico seco de México

La ganadería de doble propósito en el trópico mexicano y, en general en Latinoamérica, se caracteriza por sus bajos indicadores productivos, alta dependencia de insumos externos a la finca, manejada en forma extensiva, además de su asociación recientemente con la generación de gases de efecto invernadero.

Asimismo, esta ganadería se desarrolla con un doble enfoque; por un lado, la producción de leche asociada a la presencia del becerro en el momento de la ordeña y la producción de carne generada por el becerro en este sistema. El volumen de ambos productos es variable y está en dependencia de múltiples factores, tanto de tipo biológico, como social y económico.

En particular, un fenómeno biológico que contribuye de manera sustancial a esta variabilidad productiva se debe a la estacionalidad climática, en donde el principal reto es hacer frente al déficit de forraje en la época de sequía. Al respecto, el uso de forrajes conservados, de residuos agrícolas y agroindustriales, así como el uso de leñosas perennes son alternativas que permiten mejorar la ganadería de doble propósito en nuestras condiciones.

Por otra parte, la disponibilidad de extensas áreas de frutales en la zona costera del estado de Colima, México, permite concebir el desarrollo de sistemas silvopastoriles, para lo cual la producción de cocotero (*Cocos nucifera*), por ejemplo, se puede complementar con la ganadería a través de la combinación con la producción de pastos, la incorporación de leguminosas herbáceas y arbóreas (por ejemplo: el guaje, *Leucaena leucocephala*) en sistemas de alta densidad de dicha arbórea, generando con ello sistemas mixtos de tipo multiestrato.

Funcionamiento y productividad en función de la disponibilidad de tierra

(Cálculos/ha):

El sistema silvopastoril desarrollado (figura 5), se compone de una plantación de cocotero (en un marco de plantación de 8×8m) dando una densidad de 54 palmeras/ha, con una edad de 60 años. El forraje utilizado fue el *Pennisetum purpureum* var. Cuba CT-115 y la leguminosa arbórea fue el guaje en tres densidades de plantación (40, 60, 80 mil plantas/ha) equivalente a una distancia entre surcos a 1.6m; 2.40 y 3.20m, respectivamente, y

entre plantas de 15 a 20 semillas m/lineal. La semilla se inoculó con una mezcla de rizobium y micorrizas, y en el momento de la siembra se fertilizó con 700 kg/ha de tierra de diatomeas como fertilizante natural, con un control de cocotero y *Pennisetum purpureum* var. Cuba CT-115 (Anguiano *et al.*, 2012).

Biomasa: la alta producción de biomasa generada en el sistema permitió que se tuviera una carga global de cinco vacas/ha.

Leche: la producción individual fue en promedio de siete l/vaca/día, con periodos de 300 días de lactancia, lo que permitió la generación de 10,500 l/ha/año.

Becerras al destete: el hato tuvo un porcentaje de fertilidad de 79%, lo que permitió lograr cuatro becerros al destete, con un peso promedio de 200 kg, a una edad de ocho meses.

Frutos: además de la leche y la carne generada en el sistema, se considera la producción de frutos de palma (*Cocos nucifera*) con un promedio de 3,312 frutos/ha/año.

Otros elementos productivos a considerar: el sistema, de manera adicional, permite la generación de cuatro t de material vegetativo de *Pennisetum purpureum* va. Cuba CT-115 y cinco kg de semilla de *Leucaena leucocephala* var. Cunningham (por planta/año), válidos para el establecimiento de una nueva hectárea del sistema propuesto.

Por otra parte, es necesario señalar que este sistema permite un favorable reciclaje de nutrientes, un incremento en el contenido de materia orgánica del suelo, un impacto favorable sobre la macrofauna edáfica y un alto potencial de fijación de carbono en el sistema. Todo ello, mediante nuevos esquemas de diseño espacial de la leucaena y su asociación con forraje de alta productividad, como lo es el *Pennisetum purpureum* va. Cuba CT-115.

Estrategias de integración y adaptación en los sistemas silvopastoriles del trópico seco de México

La incorporación de una gramínea forrajera, como el *P. purpureum* CT-115, en áreas de cocotero, así como de diferentes densidades de siembra de *L. leucocephala* en ganadería bovina de doble propósito, propiciaron la integración de especies con diseños espaciales novedosos que permiten un incremento escalado y complementario en la producción de biomasa, lo que a su vez, implica incrementar de manera indirecta el uso eficiente del agua.

Con esta estrategia de integración de especies vegetales en el mismo terreno y a diferentes estratos se favorece el reciclaje de nutrientes, se incrementa el contenido de materia orgánica del suelo, y con ello, su fertilidad al diversificarse también la macrofauna edáfica. Esta asociación demuestra, a su vez, un alto potencial en los objetivos de fijación o secuestro de carbono en el sistema.

El aumento en producción de biomasa permite, lógicamente, una mayor carga animal por unidad de área, lo cual incrementa la eficiencia productiva del sistema por unidad de superficie, en un sistema multiestrato, que favorece el bienestar animal (con mayor sombra natural), aspecto importante en las condiciones tropicales. En este contexto, la elección de la raza más adecuada para valorar tales condiciones de producción juega un papel importante en los objetivos de garantizar la resiliencia del sistema, con una perdurabilidad

y productividad estables, a mediano y largo plazo, en condiciones de baja dependencia de la importación de insumos del exterior.

Esta variante de asociación sobre la base de la aplicación de una modalidad de sistemas silvopastoriles, modifica las áreas de pastoreo convencionales; donde, tanto la palmera (*Cocos nucifera*) como la leucaena (*L. leucocephala*) proveen biomasa, reciclaje de nutrientes y sombra para el bienestar de los bovinos.

Al modificar los diseños espaciales y las especies en estas áreas de cocotero, se favorece la presencia de otras especies, tanto leguminosas como no leguminosas, con potencial de consumo y de diferente porte, sean rastreras o erectas, herbáceas, arbustivas y arbóreas. Esta diversificación de las especies productoras de biomasa a diferentes estratos en el sistema favorece las complementariedades entre las comunidades vegetales (por ejemplo: en la resistencia a plagas y enfermedades) y una alternancia estratégica en la utilización de los nutrientes esenciales disponibles, pero también en los ciclos de producción de biomasa, dependientes de la progresión de sus ciclos fenológicos.

Para lograr estos beneficios del sistema, la experiencia desarrollada indica que es estratégica la incorporación del cerco eléctrico para permitir la lotificación y/o rotación de las áreas, considerando el tiempo de ocupación y descanso idóneos para su mejor aprovechamiento y uso racional, así como la incorporación del agua en las áreas de pastoreo.

En este contexto, este tipo de sistema generó independencia forrajera y de la compra de suplementos comerciales característicos de la zona de influencia.

Los cococultores se ven favorecidos con la diversidad productiva, pues además del ingreso económico de la venta de coco, se puede asociar a una ganadería con mayor productividad en el sistema, en donde los productores complementan su ingreso económico al diversificar su producción.

Consideraciones finales

La capacidad de adaptación de los sistemas de producción agropecuarios es esencial para fomentar la sostenibilidad de los mismos ante cambios o perturbaciones. En la medida que es posible modificar las tendencias no deseables de los sistemas agrícolas y ganaderos mediante intervenciones o mecanismos de regulación apropiados, se reducen los riesgos a perturbaciones y aumenta su resiliencia.

Asimismo, existe el reto para el diseño, establecimiento y manejo de sistemas agropecuarios con mayor capacidad de adaptación ante las perturbaciones, en donde se identifique o elaboren estrategias prácticas de intervención o mecanismos de regulación apropiados para cada condición. Con ello se contribuye a crear un compromiso sólido entre los objetivos de productividad y de utilización racional de los recursos naturales locales; para, de esta manera, lograr sistemas perdurables, desde los puntos de vista económico, ambiental y social.

Los estudios de caso de agroforestería pecuaria son una muestra del empleo de los recursos locales para el logro de integración y adaptación de los sistemas agropecuarios en trópico.

Literatura citada

- Alcaras, J. R. y Lacroux, F. (1999). Planifier, c'est s'adapter. *Économie et Sociétés*, série S.G., 26-27, 7-37.
- Altieri, M. A. y Nicholls, C. (2013). Agroecología y resiliencia al cambio climático: Principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología*, 8(1):7-20.
- Anguiano, J. M.; Aguirre, J. y Palma, J. M. (2012). Establecimiento de *Leucaena leucocephala* con alta densidad de siembra bajo cocotero (*Cocos nucifera*). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 46(1):103-107.
- Aracil, J. (1995). *Dinámica de sistemas*. ISDEFE. Madrid. 88 pp.
- Bauman, D. E y Currie, W. B. (1980). Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: a review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. *J. Dairy Sci.* 63: 1514-1529.
- Bello, E. S. (1971). Las unidades experimentales de producción en la investigación ganadera. En: *Análisis económico de los datos en la investigación ganadera*. Gastal, E. (Ed.). IICA-OEA. Montevideo. Pp. 229-238.
- Bertalanffy, L.V. (1976). *Teoría general de los sistemas*. Fondo de Cultura Económica. México. 311 pp.
- Bocquier, F. y González-García, E. (2010). Sustainability of ruminant agriculture in the new context: feeding strategies and features of animal adaptability into the necessary holistic approach. *Animal* 4(7):1258-1273.
- Chilliard, Y. (1986). Variations quantitatives et métabolisme des lipides dans les tissus adipeux et le foie au cours du cycle gestation-lactation. 1ère partie : chez la ratte. *Reproduction, Nutrition and Development*. 26:1057-1103.
- Chilliard, Y. (1999). Metabolic adaptations and nutrient partitioning in the lactating animal. En: Martinet, J. (Edit.); Houdebine, L. M. (Edit.) y Head, H. H. (Edit.), *Biology of lactation* (p. 503-552). *Mieux Comprendre*. Paris, FRA: INRA Editions. <http://prodinra.inra.fr/record/67646> (Consultado el 10 de mayo 2014).
- Chilliard, Y.; Bocquier, F. y Doreau, M. (1998). Digestive and metabolic adaptations of ruminants to undernutrition, and consequences on reproduction. *Reproduction, Nutrition and Development*. 38:131-152.
- Conway, G. (1985). Agroecosystem Analysis. *Agricultural Administration*. 20:31-55.
- Conway, G. (1987). The properties of agroecosystems. *Agricultural System*. 24:95-117.
- Dumont, B.; Fortun-Lamothe, L.; Jouven, M.; Thomas, M. y Tichit, M. (2013). Prospects from agroecology and industrial ecology for animal production in the 21st century. *Animal* 7(6):1028-43.
- Friggens, N. C.; Sauvart, D. y Martin, O. (2010). Vers des définitions opérationnelles de la robustesse s'appuyant sur des faits biologiques : l'exemple de la nutrition. *INRA Productions Animales*. 23(1):43-52.
- Gerber, P. J.; Steinfeld, H.; Henderson, B.; Mottet, A.; Opio, C.; Dijkman, J.; Falcucci, A. y Tempio, G. (2013). Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/018/i3437e/i3437e.pdf> (Consultado el 17 de julio de 2014).
- Gliessman, S. R. (1990). Quantifying the agroecological component of sustainable agriculture: A goal. *Agroecology*. Springer-Verlag. p. 366-370.
- Gliessman, S. R. (2007). *Agroecology. The Ecology of sustainable food systems*. CRC Press. Boca Raton, Florida, USA. 384 pp.
- González, E. (2003). Módulos agroforestales para la producción caprina. *Revista ACPA* 4, 43-45 (<http://www.actaf.co.cu/revistas/Revista%20ACPA/2003/REVISTA%2004/17%20MODULOSAGROFORESTALES.pdf>) (Consultado el 09 de abril de 2014).
- IPCC. (2014). Summary for policymakers. En: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects*. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Field, C. B.; Barros, V. R. Dokken, D. J. Mach, K. J.; Mastrandrea, M. D.; Bilir, T. E.; Chatterjee, M.; Ebi, K. L.; Estrada, Y. O.; Genova, R. C.; Girma, B.; Kissel, E. S.; Levy, A. N.; MacCracken, S.; Mastrandrea P. R. y White L.L. (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32. Disponible en: http://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WG2AR5_SPM_FINAL.pdf (Consultado el 05 de agosto de 2014).

- Monod, J. (1970). *Le hasard et la nécessité. Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*. Le Seuil, Paris, France, 219 pp.
- Morley, F. H. W. (1979). ¿En qué consiste el enfoque de sistemas en la producción animal? En: *Enfoque de sistemas en la investigación ganadera*. Scarsi J. C. (Ed.). IICA. Montevideo, Uruguay. pp: 24-37.
- Noda, Y.; Martín, G. y García, D.E. (2005). Efecto de la altura y la frecuencia de defoliación en la producción y la calidad de la biomasa de *Morus alba* (Linn). *Pastos y Forrajes* 28(2):133-140.
- Park, J. y Sealton, R. A. F. (1996). Integrative research and sustainable agriculture. *Agricultural Systems*. 50:81-100.
- Reinjtes, C.; Haverkort, B. y Waters-Bayer, A. (1992). *Farming for the future*. MacMillan, London. 250 pp.
- Smyth, A. J. y Dumanski, J. A (1996). A framework for evaluating sustainable land management. *Canadian Journal of Soil Science*. 75(4):401-406.
- Sauvant, D. y Martin, O. (2010). Robustesse, rusticité, flexibilité, plasticité... les nouveaux critères de qualité des animaux et des systèmes d'élevage : définitions systémique et biologique des différents concepts. *INRA Productions Animales*. 23(1): 5-10.

Recibido: Agosto 14, 2014
Inicio de arbitraje: Artículo invitado
Dictamen para autor: No
Aceptado: Agosto 28, 2014

Figura 3
Modelo conceptual del sistema de producción bovina de doble propósito del municipio de Tecpatán, Chiapas, México.

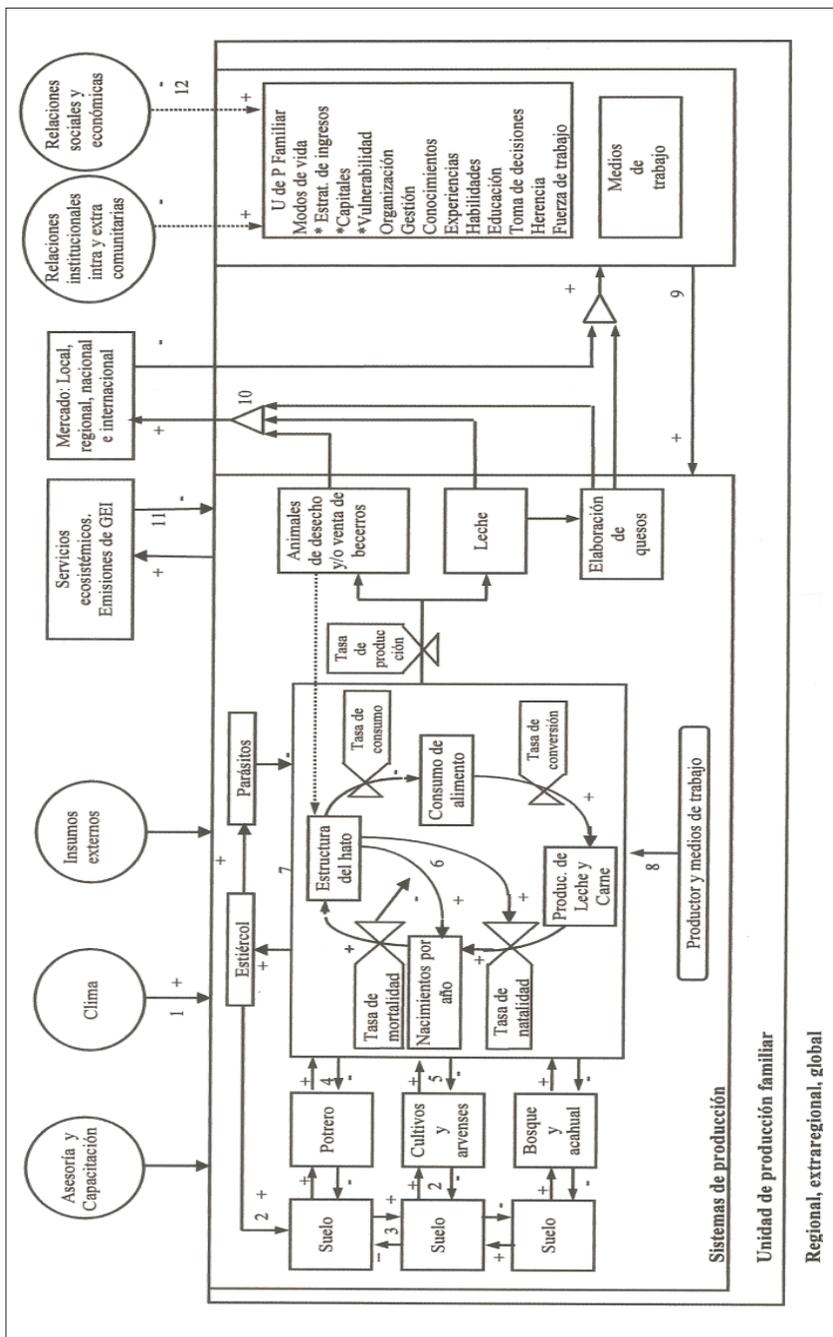


Figura 4
 Representación esquemática del modelo de funcionamiento de la tecnología de los módulos agroforestales para la producción de leche con cabras (experiencia cubana). La ilustración toma como base de cálculo la disponibilidad de 1 hectárea de banco forrajero.

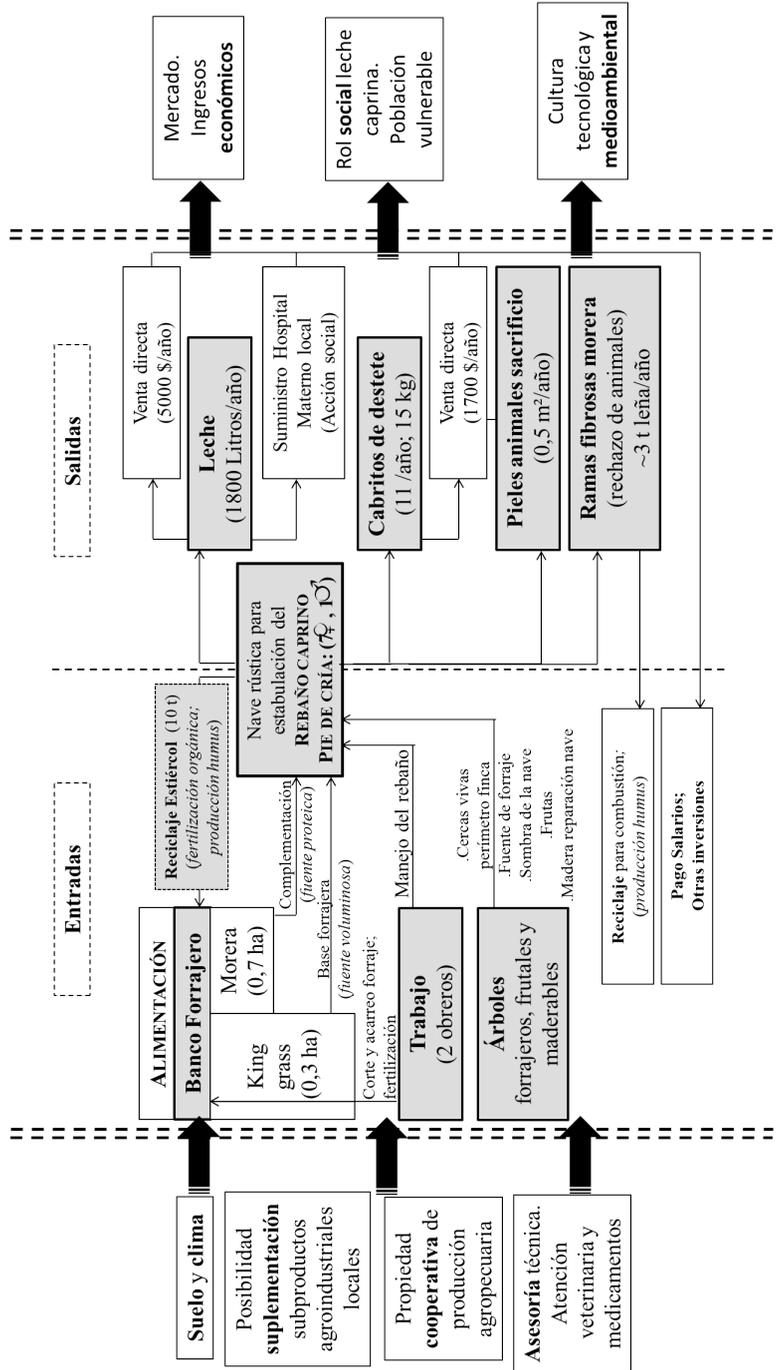


Figura 5
 Representación esquemática del modelo de funcionamiento de la tecnología de los sistemas silvopastoriles en ganadería bovina de doble propósito en el trópico seco de México.

