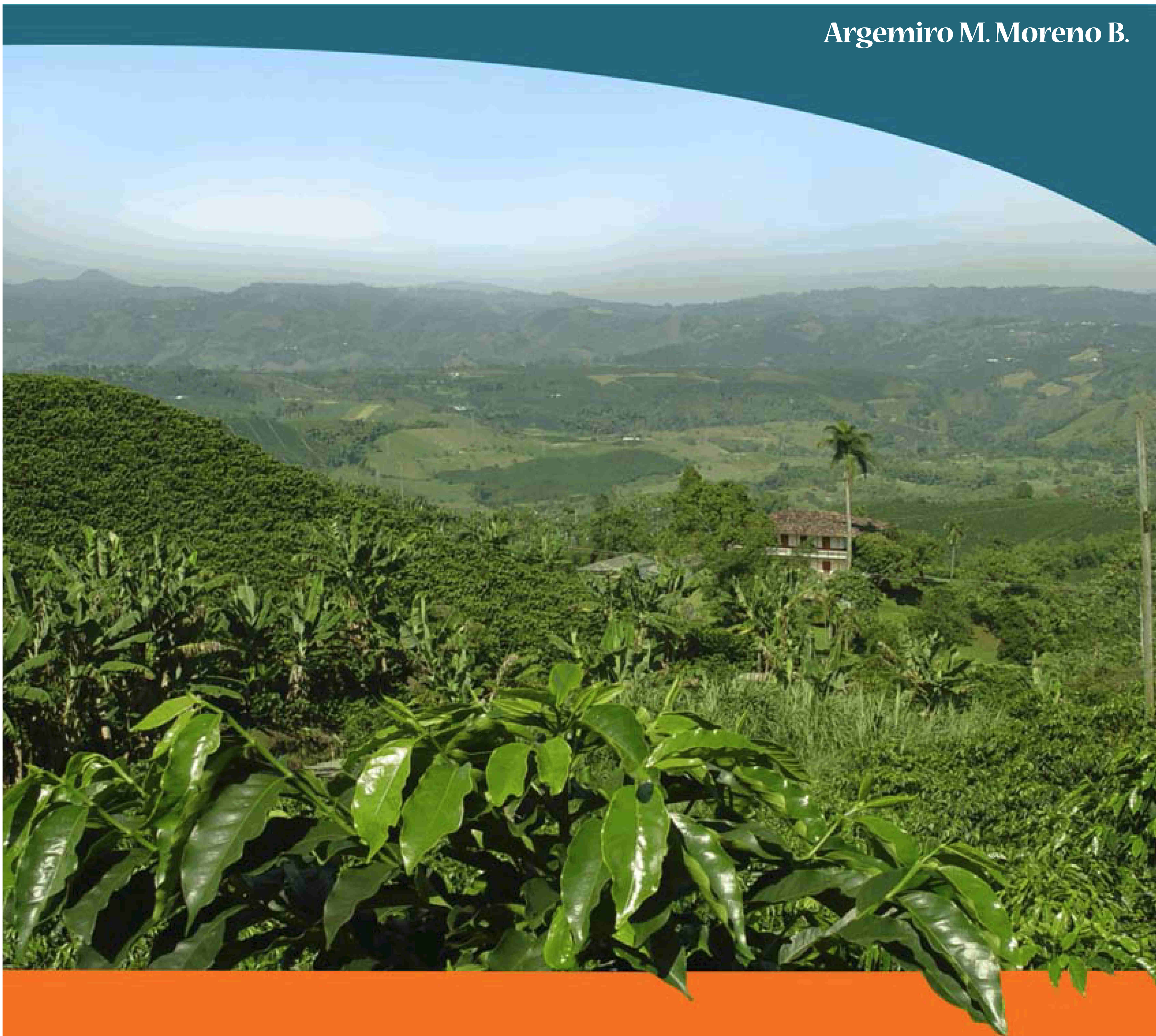


# Fundamentos sobre sistemas de producción

Argemiro M. Moreno B.





## Elementos de un sistema

La ciencia y la tecnología, hoy día son el fundamento y el soporte de todas las actividades productivas artesanales o empresariales de los seres humanos; por tanto, es importante tener principios y conceptos amplios sobre lo que es un sistema de producción, para entenderlo en toda su dimensión y así poder acudir con precisión y oportunidad a la Fitotecnia como tecnología de la producción agrícola. La actividad agrícola empresarial para que pueda ser exitosa tiene necesariamente que usar conocimiento científico y tecnológico junto con un proceso administrativo eficaz y eficiente.

La Fitotecnia, es la materia o la disciplina que utiliza el conocimiento de forma armónica y coordinada para obtener productos vegetales útiles al hombre, en las mejores condiciones económicas, ecológicas y de respeto al medio ambiente. El ámbito de la producción vegetal en que se enmarcan los estudios fitotécnicos queda sustentado en tres grandes grupos de factores: edáficos (suelo), climáticos y biológicos (Urbano, 1995).

Para comprender mejor los sistemas, es importante considerar un poco la Teoría General de Sistemas, la cual se desarrolló cuando se comprendió que muchos problemas en el “mundo real” son muy complejos y que necesitan soluciones multidisciplinarias; pues no es suficiente con considerar unos pocos factores; hay que tomar en cuenta el conjunto y ver cada problema como uno de los componentes de un sistema. En consecuencia, esta teoría es una de las que tienen mayor aceptación tanto en las ciencias básicas como en las aplicadas, debido a su alcance integrador como lenguaje interdisciplinario, de tal manera que al comprender las teorías, los elementos, las definiciones y los demás aportes que brinda sobre los sistemas, genera competencia para analizar y entender cualquier tipo de sistema en un momento determinado o por lo menos, para tener una perspectiva de sistemas.

La Teoría General de Sistemas se encarga de analizar un sistema de forma general, luego los subsistemas que los componen o conforman y las interrelaciones que existen entre sí, para cumplir un propósito u objetivo. En consecuencia, busca semejanzas que permitan aplicar leyes idénticas a fenómenos diferentes y que a su vez permitan encontrar características comunes en sistemas diversos.

Según Bertalanffy (1976), sistema es un conjunto de unidades recíprocamente relacionadas, esto es que en términos generales un sistema está conformado por componentes con estructura y funciones determinadas con entradas (insumos) y salidas (productos) definidas hacia un fin establecido. Por ejemplo, el sistema

de producción de café a libre exposición solar está conformado por las plantas de café, el suelo y el ambiente para producir cerezas de café. Si al anterior sistema le incluimos un componente nuevo como es la sombra, el sistema cambia, y esos cambios también dependerán de los efectos que produzca la sombra; porque el nuevo componente influye en la estructura del sistema y por tanto, en sus interacciones y productos tanto en cantidad como en calidad.

De otra parte, el sistema de producción café a libre exposición solar puede descomponerse en subsistemas como las arvenses, el suelo, el clima y la planta de café, entre otros. Lo anterior muestra que en la medida que analicemos el sistema encontraremos otros inferiores contenidos en los anteriores, dando paso a lo que se conoce como principio de recursividad.

Al tener una visión de sistemas ante la producción agrícola, se da la posibilidad de entender lo que ocurre en la finca como sistema dinámico global y cada uno de sus subsistemas, donde el sistema de producción de café, con sus componentes y sus subsistemas, funcionarán hacia los objetivos propuestos, como resultado de las decisiones técnicas y administrativas del empresario agrícola.

### Elementos de un sistema

Todo sistema está conformado por:

1. Componentes
2. Interacción entre componentes
3. Entradas (insumos)
4. Salidas (productos)
5. Límite o frontera

Identificar con claridad y precisión los elementos de un sistema, es la base para empezar a entenderlo bien, para no incurrir en imprecisiones y por tanto, en decisiones inadecuadas o erróneas a la hora de desarrollarlo o al tratar de influir sobre el mismo. Por ejemplo, en el sistema de producción de café, al no entender bien las interacciones de dos componentes como la planta y el suelo, puede incurrirse en grandes fallas, como puede ser sembrar una planta que no tenga un sistema radical adecuado para que se ancle bien al suelo y pueda absorber agua y nutrimentos. Si por el contrario ya el cafetal (sistema) está establecido y se observan plantas deficientes en su desarrollo y con un anclaje débil, es muy probable que sea a causa de malformaciones radicales o condiciones deficientes del suelo, por no haber considerado ese detalle a la hora de



sembrar las plantas desde el estado de chapola. Como el cultivo del café es para varios años, el conocimiento de los elementos del sistema y de sus interacciones es aún de mayor relevancia.

Aparte de identificar los componentes de un sistema, también es importante conocer su estructura. La palabra estructura se deriva del latín *struere* que significa construir; la estructura está dada por las interrelaciones más o menos estables entre las partes o los componentes de un sistema, que pueden ser verificadas (identificadas) en un momento dado. En algunos casos es preferible distinguir entre una estructura primaria (referida a las relaciones internas) y una hiperestructura (referida a las relaciones externas). La estructura de un sistema depende del número de componentes, del tipo de componentes y de la interacción entre los componentes. Si uno se hace preguntas tales como: ¿Qué pasa si esto cambia?, entonces comienza a ver que cada elemento es parte de una o más estructuras del sistema.

El ambiente o entorno, es el medio que envuelve al sistema con el cual está en constante interacción, ya que éste recibe entradas, las procesa y efectúa salidas. La supervivencia de un sistema depende de su capacidad de adaptarse, cambiar y responder a las exigencias y demandas del ambiente. Aunque el ambiente puede ser un recurso para el sistema, también puede ser una amenaza. Algunas veces, el ambiente o entorno puede modificarse para favorecer el sistema, como cuando se usa el sombrío en los cafetales para reducir el impacto negativo del déficit hídrico y las altas temperaturas. El atributo se refiere a las características y propiedades estructurales o funcionales que caracterizan a los componentes de un sistema. En el caso del café, el componente planta tiene el atributo de ser perenne.

En un sistema dado, la función siempre se define en términos de procesos. La función está relacionada con el proceso de recibir entradas y producir salidas. Este proceso se puede caracterizar usando diferentes criterios, pero entre los más importantes están: productividad, eficiencia y variabilidad.

Una forma de estudiar los sistemas es por medio de modelos, los cuales son construcciones diseñadas por un observador que persigue identificar y medir relaciones sistémicas complejas. Todo sistema real tiene la posibilidad de ser representado en más de un modelo. La decisión en este punto depende tanto de los objetivos de quien modela como de su capacidad para distinguir las relaciones relevantes con relación a tales objetivos. El propósito de la modelación de sistemas es la simplificación. Con relación al café, la función de producción es quizá el modelo más simple para representar la producción de café en función de

algunas variables como el número de ramas, nudos por rama y granos por nudo, entre otras.

Dada la gran diversidad de sistemas, éstos pueden clasificarse:

1. Conforme a su naturaleza, se pueden agrupar en reales, ideales y modelos. Mientras los primeros presumen de una existencia independiente del observador (quien los puede descubrir), los segundos son construcciones simbólicas, como el caso de la lógica y las matemáticas, mientras que el tercer tipo corresponde a abstracciones de la realidad, en donde se combina lo conceptual con las características de los objetos. Por ejemplo, la producción del café puede expresarse de forma matemática mediante una función de producción, con el propósito de predecir producciones o conocer mejor algunas interacciones entre sus componentes más interesantes.

2. Con relación a su origen, pueden ser naturales o artificiales, distinción que apunta a destacar la dependencia o no en su estructuración por parte de otros sistemas. En general, los agroecosistemas son sistemas artificiales, producto de la actividad humana (antrópica).

El Sistema de Información Cafetera (SICA), es un sistema artificial para describir y caracterizar la caficultura colombiana, y se define de la siguiente manera: sistema de información dinámico, actualizable que le permite a las autoridades cafeteras, a la institución y a los productores contar con información confiable, la cual contribuye al mejoramiento de la competitividad y la sostenibilidad de la caficultura colombiana, en procura del bienestar de las familias cafeteras.

3. En cuanto al ambiente o al entorno, cuando se puede expresar o determinar el grado de aislamiento los sistemas pueden ser cerrados o abiertos, según el tipo de intercambio que establecen con sus ambientes. En este punto se han producido importantes innovaciones en la Teoría General de Sistemas, tales como las nociones que se refieren a procesos relativos a estructuras disipativas, autorreferencialidad, autoobservación, autodescripción, autoorganización, reflexión y autopoiesis. Un cafetal, es un sistema abierto y como tal interactúa de forma positiva o negativa con su entorno, tanto por las funciones del sistema como por su manejo. Por ejemplo, un manejo inadecuado del subsistema arvenses puede influir negativamente sobre el subsistema suelo (facilitando la erosión, por ejemplo), por eso se ha optado por el manejo integrado de las arvenses, producto de una visión global de este subsistema, porque al evitar que éste se deteriore, su interacción con las plantas se mantendrá bien.



## Ecosistemas - Agroecosistemas - Sistemas de producción

Actualmente, la preocupación por la sostenibilidad del ambiente mediante el manejo equilibrado de los recursos naturales renovables (el suelo, por ejemplo) para satisfacer las diversas necesidades de la humanidad, constituye un serio desafío, pues en cuanto aumenta la población humana, se incrementa la demanda por alimentos y materias primas de origen vegetal y animal.

La productividad biológica considerada como la acumulación de energía y materiales, se fundamenta en conceptos ecológicos, pero es la aplicación de la tecnología la que permite aprovechar dicha productividad. En consecuencia, entender la estructura y la función de los ecosistemas, los agroecosistemas y los sistemas de producción, para usar de forma adecuada lo mejor que haya en tecnología de la producción, aparte de ser un compromiso general, es una forma de garantizar efectividad y su sostenibilidad.

El ecosistema según Hart (1985), es un sistema dinámico relativamente autónomo formado por una comunidad natural (componentes bióticos) y su medio ambiente físico (componentes abióticos). Este concepto empezó a desarrollarse en las décadas de 1920 y 1930, y tiene en cuenta las complejas interacciones entre los organismos (plantas, animales, bacterias, algas, protozoos y hongos, entre otros) que forman la comunidad y los flujos de energía y materiales que la atraviesan. En otras palabras, el ecosistema es el conjunto de factores abióticos y bióticos de una determinada zona y la interacción que se establece entre ellos.

La interacción entre el medio abiótico y biótico se produce cada vez que un animal o vegetal se alimenta y después elimina sus desechos. Para profundizar sobre este concepto, es fundamental saber cómo se organizan los seres vivos y qué tipo de interacción ocurre entre ellos y con su ambiente.

Agroecosistema o Sistema agrícola, es un ecosistema sometido por el hombre a frecuentes modificaciones de sus componentes bióticos y abióticos. Estas modificaciones afectan prácticamente todos los procesos estudiados por los ecólogos, y abarcan desde el comportamiento de los individuos y la dinámica de las poblaciones hasta la composición de las comunidades y los flujos de materia y energía.

Casi siempre la intervención del hombre se hace con un propósito (Spedding, 1995), donde el beneficio económico mediante la consecución de uno o varios productos (agrícolas, forestales o pecuarios) casi siempre

predomina, aunque también se puede satisfacer otro tipo de necesidades.

Estimaciones recientes, indican que más de la mitad de la superficie de la corteza terrestre ha sido destinada a la práctica de la agricultura (12%), la ganadería (25%) o la plantación de bosques artificiales (15%).

Ante los efectos nocivos que ha sufrido la superficie de la corteza terrestre como son la compactación de los suelos, la erosión y la disminución o la pérdida de la fertilidad natural, hoy día se propende por establecer agroecosistemas sostenibles en términos sociales, económicos y ambientales. Lo anterior ha sido el resultado de un mejor conocimiento de estos sistemas, tanto en sí mismos como de los subsistemas del ecosistema. Los agroecosistemas, están conformados a su vez por subsistemas, tales como el subsistema cultivos, el subsistema arvenses, el subsistema plagas, el subsistema enfermedades y el subsistema suelo.

Un sistema de producción agrícola, es una actividad dirigida a transformar componentes abióticos (oferta ambiental) por medio de componentes bióticos (genotipo), en arreglos espaciales y cronológicos con prácticas adecuadas de manejo, en productos de importancia económica. Por ejemplo, la planta de café (genotipo) transforma CO<sub>2</sub>, agua, energía solar y minerales, en cerezas de café.

La Fitotecnia, es la tecnología propia de los sistemas de producción agrícola, la cual como tal es una visión y un sistema de conocimientos multidisciplinarios, para producir con calidad, rentabilidad y sostenibilidad cualquier producto agrícola. Al respecto, es importante tener en cuenta que al aplicar tecnología a un sistema de producción, el propósito debe ser aminorar la brecha que existe entre el potencial de producción y la producción real. Por tanto, es clave identificar los elementos del sistema que más contribuyen a la producción final (Figura 1.1).

Dentro de los sistemas de producción agrícola, también se practica la Agroforestería, la cual se refiere a sistemas y tecnologías de uso del suelo en los cuales las especies leñosas perennes como los árboles, los arbustos y las palmas, entre otras, se usan de forma deliberada en el mismo sistema de manejo con cultivos agrícolas y/o producción animal, en alguna forma de arreglo espacial o secuencia temporal (Nair, 1989).

Entre las características de los Sistemas Agroforestales, se puede mencionar su gran capacidad para optimizar la producción a través de una explotación diversificada, en la que los árboles cumplen la función de proveer muchos productos tales como madera, alimento, forraje, leña, postes, materia orgánica, principios activos de interés



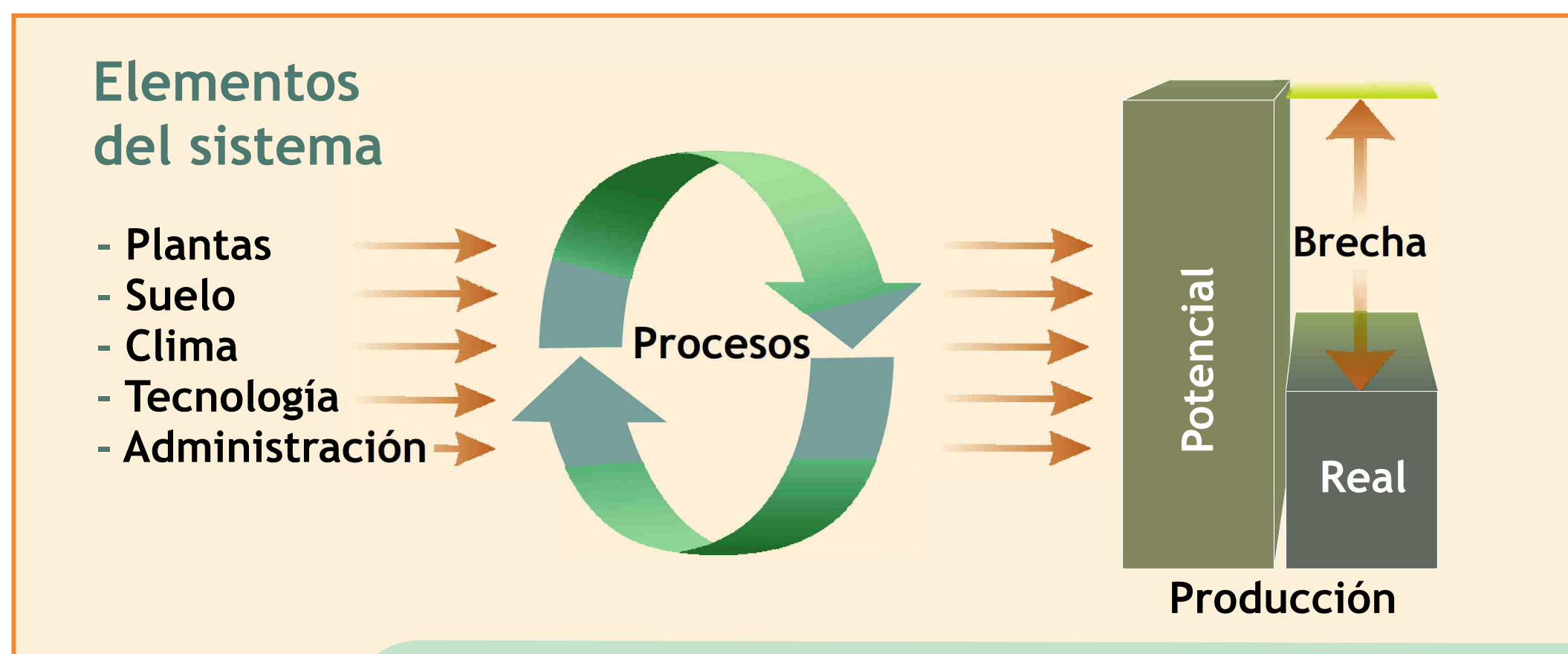


Figura 1.1. Relación entre algunos elementos de un sistema de producción agrícola y sus producciones potencial y real.

farmacéutico, cosméticos, aceites y resinas, entre otras. Por otra parte, los árboles son proveedores importantes de servicios como seguridad alimenticia, conservación de suelos, aumento de la fertilidad del suelo, mejora del microclima, cercas vivas para los cultivos y árboles frutales, demarcación de límites, captura de carbono, estabilización de cuencas, protección de la biodiversidad, recuperación de tierras degradadas y control de arvenses.

Aunque los propósitos, objetivos o beneficios de un Sistema Agroforestal pueden ser diferentes según las necesidades o situaciones, de forma amplia tienen buen reconocimiento los siguientes: la protección y el mejoramiento del suelo y la diversificación de la producción, lo cual le asegura una mayor estabilidad e ingresos económicos en el mediano y el largo plazo; obtención de subproductos como leña, postes, miel y otros, que mejorarán la calidad de vida de los propietarios; dado el reconocido aumento en la eficiencia biológica del sistema, ayudará a un aumento de la productividad para el agricultor, la comunidad o la región (Torquebiau, 1993).

## Sistemas de producción de café en Colombia

En la región cafetera colombiana se han identificado áreas homogéneas en características de suelo, relieve y clima denominadas ecotopos cafeteros, que definen el entorno o el ambiente principal de los sistemas de producción de café. Se consideran los siguientes sistemas de producción: tradicional, tecnificado, con semisombra y con sombra.

**Sistema de producción tradicional**, se considera un lote de café con variedad Caturra o Típica, establecido sin trazo, con sombrío no regulado y una población menor a 2.500 plantas por hectárea.

**Sistema de producción tecnificado**, se considera un lote de café con variedad Caturra o Castillo®, el cual ha sido trazado, establecido al sol o con sombrío regulado y una población mayor a 2.500 plantas por hectárea.

**Sistema de producción con semisombra**, se define en función del componente arbóreo como regulador de la luz solar. Generalmente, se emplean especie arbóreas como el guamo, el nogal o el chachafruto, entre otros y con una densidad entre 20 y 50 árboles por hectárea, o cualquier especie arbustiva semipermanente (plátano o banano) con un número de plantas entre 300 y 750 sitios por hectárea.

**Sistema de producción de café con sombra**. Está caracterizado por el empleo de cualquier especie arbórea permanente con una densidad superior a 50 árboles por hectárea, equivalente a una distancia de siembra de 14 x 14 m. También puede darse la regulación de la luz incidente por cualquier especie arbustiva semipermanente con más de 750 sitios por hectárea, la cual puede establecerse con una distancia de siembra de 3,7 x 3,7 m, con un arreglo espacial uniforme (Federación Nacional de Cafeteros, 1993).

La regulación de la luz incidente, generalmente se emplea en aquellas regiones donde ocurre déficit hídrico y altas temperaturas. Para este sistema comúnmente se emplean plantas de valor económico, lo que se denomina sombrío productivo, como una forma de reducir los costos de producción y es una opción para diversificar el ingreso.

Tabla 1.1. Análisis económico de doce prácticas para mejorar el desempeño de las fincas cafeteras (Ramírez *et al.*, 2002).

No.	Práctica	Inversión adicional	Ineficiencias cubiertas/beneficios de las prácticas	Cubrimiento actual
1	Sembrar Variedad Castillo®	No	Resistente a la roya. La pérdida potencial por roya es hasta del 23% de la producción y menor calidad.	27% del área sembrada
2	Producir colinos de café en la finca	No	Ahorro del 62% de los costos Puede representar entre 30 y 40% más de productividad.	N.D.
3	Utilizar materia orgánica	No	Reducción de costos y mejor calidad del fertilizante	N.D.
4	Aumentar la densidad	(1)	Fundamental para aumentar la productividad Alternativa adicional: 2 chapolas por sitio reducen hasta en un 46% el costo de instalación.	
5	Manejo integrado de arvenses (MIA)	No	Reducción del 58% en costos Sostenibilidad de la productividad por la protección del suelo (importancia enorme en lotes de ladera)	N.D.
6	Fertilizar con base en el análisis de suelo	No	Actualmente se hace un uso excesivo de los fertilizantes. Algunos ejercicios muestran pérdidas marginales por esta práctica entre el 50 y el 90% de su costo. Todo se logra con educación e información sobre suelos.	N.D.
7	Fertilizantes al voleo	No	Aumenta la productividad del fertilizante y disminuye los requerimientos de mano de obra. Reducción del 66% en costos	N.D.
8	Manejo integrado de broca (MIB)	No	La broca deteriora la calidad - menores ingresos por reducción del precio recibido Se reduce entre un 30 y 80% el valor del costo según el nivel de infestación. Educación sobre el uso racional de los recursos.	N.D.
9	Renovar por zoca	No	Estabiliza y mejora la productividad. 50% menos costosa que la siembra. Capacitación para planear los ciclos Alternativa adicional: dos chupones por sitio permiten aumentar la productividad, al incrementar la densidad sin necesidad de nuevas siembras.	
10	Cosechar sólo los frutos maduros	(2)	Muestreos indican que cerca del 15% del grano recogido no son frutos maduros Mejora calidad - mayores ingresos	N.D.
11	Beneficio ecológico	Sí	Recuperación de la inversión entre 4 y 6 años Ahorro en el consumo de agua (98%) Menos mano de obra y tiempo, mayor calidad, menor contaminación y manejo de subproductos	
12	Producir alimentos en los cafetales	Sí	Aprovecha la tierra con otros cultivos. Un ejemplo: rentabilidades de 120 y 163% para cultivos de café-maíz en dos localidades	N. D.
13	Herramientas de registro y análisis de costos	(3)	Manejo empresarial. Hay un software AgroWin para esto. Educación	

(1) Genera costos porque es necesario renovar los cafetales.

(2) Genera un mayor costo laboral por la recolección pero el mayor precio por el café lo compensa

(3) Puede diseñarse un sistema de ayuda porque no todos tienen acceso al computador. Los técnicos del Servicio de Extensión pueden ayudar en esto porque todos están equipados

En cuanto a la tecnología que puede aplicarse para modernizar los sistemas de producción de café, reducir los costos, aumentar la productividad, buscar la sostenibilidad y ganar eficiencia, existen prácticas descritas por Duque (2001), que se resumen en la Tabla 1.1 (Ramírez *et al.*, 2002).

En los siguientes capítulos, se encuentran los fundamentos científicos y tecnológicos sobre las prácticas de cultivo para consolidar sistemas de producción de café, eficaces, eficientes, rentables y sostenibles.