

# Optimizando la producción agrícola: análisis de sistemas para operacionalizar la agricultura multifuncional

*Optimizing the agricultural production: systems analysis to operationalize multifunctional agriculture*

Daniel Callo-Concha<sup>a</sup>

## RESUMEN

Son varios los retos contemporáneos en el uso de suelo que acentúan su cambio, como la contaminación y la degradación. En esta comunicación corta se examinan los sistemas agrícolas multifuncionales como alternativa para operacionalizar la sostenibilidad productiva, ecológica y económica. No obstante, se hace hincapié en su inherente complejidad, que limita su evaluación y validación. Así, se sugiere el análisis de sistemas como plataforma conceptual y operativa para evaluar los sistemas agrícolas multifuncionales, y se toman los sistemas agroforestales de Tomé-Açú en la Amazonia brasileña como ejemplo. La metodología propuesta logra identificar los factores determinantes que promueven la multifuncionalidad en los sistemas agrícolas, y complementariamente estima los *trade-offs* que resultarían de implementarlos. Además, se incluye la participación de grupos de interés en el análisis, de tal manera que se legitiman los resultados obtenidos. Más allá del ejemplo, el análisis de sistemas se propone como opción tanto teórica como operativa en el análisis de situaciones reales y complejas, pues las dos constituyen cualidades clave para la toma de decisiones.

**PALABRAS CLAVE:** diversificación de cultivos; agroforestería; complejidad; participación; Amazonia.

## ABSTRACT

After listing the contemporary challenges in land use (such as pollution and degradation) that emphasize its change, this short communication screens multifunctional agriculture systems as an alternative to operationalize the productive, ecological and economic sustainability. Nonetheless, the inherent complexity that limits the assessment and validation of this kind of systems is highlighted. The systems analysis is suggested as conceptual and operational platform for their assessment, and the evaluation of the agroforestry systems of Tomé-Açú in northern Brazil is taken as an example. The proposed methodology allows identifying the determinant factors that promote the multifunctionality of agricultural systems, and complementarily, it allows estimating the trade-offs that result from their implementation. The participation of relevant stakeholders is also included in the analysis, which helps legitimize the obtained results. Beyond the example, systems analysis is proposed as a theoretical and operational alternative for the analysis of real and complex situations, since both constitute key qualities for decision-making.

**KEYWORDS:** crop diversification; agroforestry; complexity; participation; Amazon.

<sup>a</sup> Center for Development Research (ZEF), Universidad de Bonn. Bonn, Alemania. E-mail: d.callo-concha@uni-bonn.de; ORCID: 0000-0002-4561-014X

## Introducción

### Desafíos contemporáneos en el uso del suelo

El término ‘uso del suelo’ alude a la utilización actual y modificaciones precedentes hechas por los seres humanos sobre el paisaje. Tales modificaciones implican cambios no solo en la morfología, sino en su estructura y funcionamiento. Originalmente, tales cambios tenían propósitos y escalas específicas, pero actualmente han alcanzado una escala global, al punto de definir nuestra era geológica como *antropoceno*.

El cambio de uso del suelo tiene efectos directos en el ambiente y en el paisaje. Por ejemplo, la conversión de bosques en tierras agrícolas altera la composición y la ecología de los ecosistemas, substituyéndolos por sistemas homogéneos de rotación intensiva de materia y energía orientados a la exportación de productos específicos. Esto determina un paisaje uniforme, dependiente y vulnerable, antitético del bosque al que reemplazó. Situaciones análogas ocurren con la minería, industria y transporte, que generan grandes volúmenes de contaminantes; y la urbanización, que además concentra el consumo en espacios pequeños y genera desechos de modo masivo. Tales fenómenos han cambiado el paisaje global. Las emisiones de humos, relaves y escorias en el aire, agua y suelos han alterado los ciclos biogeoquímicos de gran escala, como el que determina el clima; al igual que la desaparición y fragmentación de áreas naturales, que han causado la pérdida de biotopos y ecosistemas, desencadenando la deriva genética, disminución y extinción de especies (Foley et al., 2005).

A los anteriores fenómenos se han sumado recientemente la adquisición masiva de tierras por inversores (*land grabbing*); el neo-extractivismo, el uso de tierras colectivas para explotaciones corporativas; el desplazamiento forzado por violencia, la construcción de infraestructura, la migración climática, entre otros (Burchardt y Dietz, 2014; Rulli et al., 2013) que requieren de enfoques más integradores para lograr un manejo sostenible, ambiental, social y económico del uso del suelo.

## Agricultura multifuncional

A propósito, han emergido enfoques alternativos del uso del suelo, como la agricultura multifuncional (AMF). La AMF aboga por el re-direccionamiento de la producción agrícola hacia la provisión amplia de bienes, servicios y funciones que favorezcan no solamente las condiciones sociales, ambientales y económicas de los agricultores, sino las de la sociedad en general (Leakey, 2012). Aunque la AMF es ampliamente practicada por pequeños agricultores como estrategia de autosuficiencia y diversificación, fue apenas en la Cumbre de la Tierra ‘Río 92’ cuando se consideró en foros de desarrollo, política y ciencia globales. En 2001 la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos compaginó los objetivos de la AMF: (i) la preservación de la producción y el consumo, (ii) la promoción del desarrollo agrícola, y (iii) la mejora del beneficio económico de los agricultores (OECD, 2001).

A pesar del consenso sobre su pertinencia, la implementación de la AMF se ha limitado debido a su inherente complejidad. Esta característica, sumada al hecho de que involucra a un alto número de participantes, resulta en una gran dificultad para su evaluación (Fleskens et al., 2009; Gómez Sal y González García, 2007). Así, dicha evaluación hasta ahora se ha enfocado en los aspectos biofísicos, sociales y económicos por separado, debilitando su representatividad y aplicabilidad en la toma de decisiones (Fleskens et al., 2009). Alternativamente, se han propuesto opciones basadas en plataformas integradoras, como el *enfoque ecosistémico* que prioriza la integración de aspectos sociales y ecológicos y sus interacciones, complementadas con la generación de escenarios alternativos (Gómez Sal y González García, 2007).

## Análisis de sistemas

El *análisis de sistemas*, concebido para desentrañar la organización, operación y funciones de los sistemas complejos (que por su número de componentes e interacciones no es fácil de desentrañar), tiene como premisa la priorización de los procesos sobre los objetivos. Aunque no existe una metodología estandarizada para aplicarlo, se reconocen algunas

características generales, como acusar límites definidos, estar conformados por componentes e interacciones entre sí, recibir entradas y generar salidas, ser jerárquicos (sub- y supra-sistemas), presentar retroalimentación, entre otros (Hart, 1982).

El análisis de sistemas se ha utilizado ampliamente en ecología, ciencias sociales, procesos industriales, informática y otras áreas del conocimiento. Más recientemente, se ha subrayado que la naturaleza de los sistemas es indivisible y por ende ellos no deben ser abordados desde una sola disciplina, proponiendo como unidad de análisis los *sistemas socio-ecológicos*, que integran componentes socioeconómicos y biofísicos por igual (Folke et al., 2003).

Esta comunicación corta sugiere el análisis de sistemas como herramienta para evaluar sistemas agrícolas multifuncionales, con el propósito de que tal enfoque permita identificar y mostrar las bondades de la resiliencia y la adaptabilidad, y eventualmente sugerir medidas para mejorar el desempeño y sostenibilidad de tales sistemas. Por ello, se vale de los antecedentes de un estudio de caso: los sistemas agroforestales de Tomé-Açu del norte de Brasil, donde se aplican tales premisas conceptuales y operacionales (Callo-Concha y Ewert, 2014).

## Ejemplo: evaluación de sistemas agroforestales

### Agroforestería en Tomé-Açu

La municipalidad de *Tomé-Açu*, estado de *Pará* en el norte de Brasil, era antes un bosque húmedo tropical y ahora está dominado por sistemas agroforestales, agrícolas y ganaderos. Su población es consecuencia de inmigraciones sucesivas: la primera en la década de 1930 proveniente de Japón, y varias subsecuentes del norte y noreste brasileños.

A partir de la década de 1960 agricultores nipo-brasileños desarrollaron sistemas agroforestales altamente diversos, productivos y rentables: comenzando con el cultivo intensivo de especies de alto valor en el mercado como la pimienta negra (*Piper nigrum*) u hortalizas; posteriormente se integraron sistemáticamente especies perennes como caoba (*Swietenia macrophylla*), cupuaçu (*Theobroma*

*grandiflorum*), cacao (*Theobroma cacao*), caucho (*Hevea brasiliensis*), açai (*Euterpe oleracea*), por indicar algunas, para la producción de madera, fruta u otros productos comerciales. Establecidos en diversos arreglos espaciales y temporales, se buscaba mejorar la fertilidad del suelo, moderar la competencia por agua, luz y nutrientes, y controlar la ocurrencia de plagas y enfermedades. Complementariamente, la *Cooperativa Agrícola Mista de Tomé-Açu* (CAMTA) apoya a los agricultores, desempeñando funciones de organización, asesoría técnica, post-producción y mercadeo e innovación (Yamada y Gholz, 2002). Su éxito ha logrado que el modelo agroforestal sea adoptado gradualmente en áreas vecinas por su alta rentabilidad, beneficios ambientales y resiliencia, en comparación con los sistemas tradicionales.

Para evaluar las cualidades de sostenibilidad de estos sistemas agroforestales por su multifuncionalidad, se hizo uso de una plataforma basada en principios sistémicos y participación de grupos de interés.

## Evaluación sistémica de la multifuncionalidad

Se combinó (i) el *análisis multicriterio*, proceso que simultáneamente divide y subdivide un fenómeno en partes medibles (variables) e inversamente lo re-agrega para ponderar la relevancia de cada nivel jerárquico y del sistema en su conjunto (Saaty, 1980), que se consolidó en índices de desempeño; con (ii) el *análisis estadístico multivariado*, que estima el desempeño de las variables en conjunto al interactuar entre sí. Específicamente, se aplicó el *análisis de factores*, que agrupa las variables más representativas, buscando identificar una estructura subyacente en el sistema (Hair et al., 1998).

Al desagregar la multifuncionalidad del sistema se identificaron categorías que consideraban los aspectos ecológicos, productivos-biofísicos, productivos-socioeconómicos e institucionales. Estas se subdividieron jerárquicamente del nivel más alto al más bajo en: funciones, criterios, indicadores y verificadores, obtenidos a partir de plantillas pre-existentes (Prabhu et al., 1999), que luego se refinaron basados en su relevancia, representatividad, adecuación local y facilidad de aplicación. Estos procesos se llevaron a cabo con la ayuda de representantes de los grupos de interés en talleres participativos.

Las variables se evaluaron a través de encuestas y mediciones biofísicas operadas en una muestra representativa de agricultores ( $n=70$ ). Los agricultores se estratificaron de acuerdo al tiempo de permanencia en la región, el tamaño de sus granjas, los estándares tecnológicos que utilizan y su capacidad organizacional, *i.e.*, *socios CAMTA*, *emigrados* y *recién llegados*. Para detalles metodológicos, véase Callo-Concha y Denich (2014).

## Variables y su importancia

En conjunto se colectaron seis criterios, 18 indicadores y 32 verificadores, que cubren los principales atributos del sistema que definen su multifuncionalidad (Tabla 1).

Al comparar los índices de desempeño, acumulativos y por funciones, se obtuvo que el índice de desempeño acumulativo y ecológico de *socios CAMTA* es el más alto que el de los *emigrados* y *recién llegados*. Las funciones productivas-biofísicas, con la varianza más baja, favorecen ligeramente a los *emigrados*; las funciones productivas-socioeconómicas muestran las mayores amplitudes; y en lo

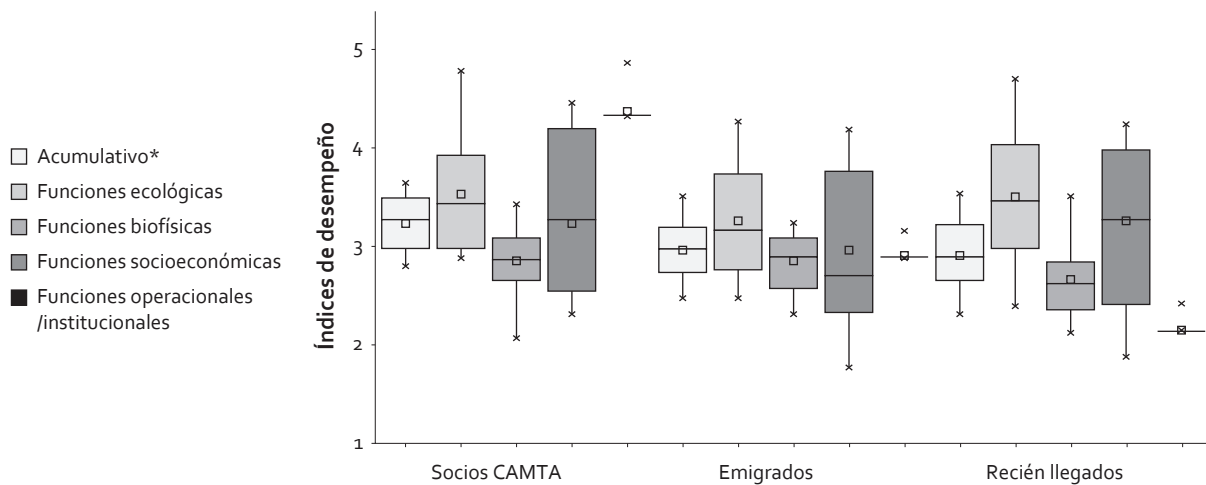
institucional, *socios CAMTA* superan ampliamente a los demás. De ello se desprende que el éxito del modelo Tomé-Açú recae más en factores ecológicos e institucionales que en los puramente productivos, ya sean biofísicos o socioeconómicos (Figura 1).

La ponderación de los índices de desempeño de los 32 verificadores evaluados indica que 10 acumulan 62% de la variabilidad de todo el sistema. Cuando se re-agrupan tomando en cuenta las funciones productivas, ecológicas e institucionales, se observa que los factores productivos relevantes son la capacidad técnica, y la adaptabilidad a cambios políticos, ambientales y sociales; los factores ecológicos clave son la diversidad biológica de los sistemas agroforestales y su capacidad para acumular biomasa; y los factores institucionales más determinantes son el cuidado del ambiente y la orientación de la producción al mercado. A su vez, la interacción de estos factores puede causar efectos indeseados, como el declive en los índices de biodiversidad (de especies leñosas y no leñosas), la disminución en la demanda de subproductos agroforestales y/o la promoción de monocultivos (Figura 2).

**Tabla 1.** Matriz de funciones, criterios e indicadores para la multifuncionalidad los sistemas agroforestales en Tomé-Açú (énfasis en la agrobiodiversidad) (\*)

Funciones	Criterios	Indicadores
Ecológicas	Procesos ecológicos	Reciclaje de nutrientes
		Diversidad de especies
		Acumulación de biomasa
		Erosionabilidad del suelo
Productivas-biofísicas	Estabilidad de entradas y salidas	Principio de precaución en la introducción de especies
		Promoción de la variabilidad intra e inter-específica
	Diseño técnico	Prevención de fragmentación y conversión de ecosistemas
		Promoción de funciones de conservación del paisaje
		Promoción de la conservación a nivel de parcela
	Impacto en la vecindad	Protección de sistemas sensibles
	Manejo técnico	Prevención de la erosión del suelo
		Manejo agronómico
Retroalimentación ante el cambio técnico		
Productivas-socioeconómicas	Bienestar de los agricultores	Seguridad alimentaria
		Acceso al mercado
		Retroalimentación y reinversión económica
Operacionales	Determinantes en la toma de decisiones	Reglamentación en la producción e implicaciones ambientales
		Incentivos institucionales para diversificación

(\*) Para una lista completa de todas las variables, véase Callo-Concha y Denich (2014).



**Figura 1.** Comparación de los Índices de Desempeño Acumulativo y por funciones (ecológicas, biofísicas, socioeconómicas y operacionales/institucionales) de los tres grupos de agricultores en Tomé-Açú.  
\* Nivel de significancia  $P < 0,05$ . Permiso de reproducción: Callo-Concha y Denich (2019).



**Figura 2.** Importancia y *trade-offs* de los factores determinantes de la multifuncionalidad de los sistemas agroforestales de Tomé-Açú. Fuente: el autor.

## Conclusiones y perspectiva

La evaluación de la multifuncionalidad de los sistemas agroforestales de Tomé-Açú, apoyada en la recolección de datos, procesamiento y análisis con enfoques participativos y operativos, valida los resultados tanto en su origen como en su aplicabilidad.

El análisis apoyado en herramientas como el *análisis multicriterio* y la *estadística multivariada*,

determinó las variables más determinantes y estimó su importancia relativa, así como los *trade-offs* que se obtienen como resultado de priorizar uno u otro. Asimismo, se identificaron actores y se infirieron medidas para preservar su desempeño, como es el caso de la CAMTA, factor clave para la producción, post-producción, mercadeo e innovación de los sistemas agroforestales de Tomé-Açú.



Más importante que las metodologías y herramientas aplicadas, es el enfoque de sistemas *per se*. Este, a diferencia de los procedimientos de evaluación convencionales que suelen enfocarse en pocas variables y ajustarse a las demandas de los grupos de interés más influyentes, puede mantener la vista en el todo y en las partes del sistema simultáneamente, y considerar una gama más amplia de factores determinantes.

Recientemente, nuevas herramientas analíticas, desarrolladas *ad hoc*, adecuadas de otras disciplinas o ensambladas con fines específicos, han emergido como opciones para la evaluación y el análisis de sistemas. Análisis de redes, análisis de sistemas dinámicos, lógica difusa, modelos bayesianos, modelos basados en agentes, son algunas de ellas. Igualmente, existen *softwares* especializados y adaptados para operar análisis de sistemas, como iModeler, Vensim y Vester, creados desde perspectivas analíticas distintas y por tanto, con ventajas y desventajas propias.

Esta comunicación corta no pretende proponer una metodología o herramienta, sino ponderar la viabilidad del enfoque de sistemas para abordar situaciones complejas, como la del caso de estudio que se tomó como ejemplo y que fue escogido por exhibir características y desafíos comunes que confronta la investigación sobre el uso del suelo.

## Agradecimientos

Originalmente, esta investigación fue financiada por el Ministerio Federal para Cooperación y Desarrollo (BMZ) de Alemania, y el Servicio Alemán para el Intercambio Académico (DAAD). Logísticamente fue apoyada por la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (EMBRAPA) y la Cooperativa Agrícola Mixta de Tomé-Açú (CAMTA). Los agricultores de Tomé-Açú cedieron gentilmente su tiempo y parcelas para el muestreo.

---

**Conflicto de intereses.** El manuscrito fue preparado y revisado por el autor, quien declara no tener algún conflicto de interés que ponga en riesgo la validez de los resultados aquí presentados.

---

## Referencias

- Burchardt, H.-J., Dietz, K., 2014. (Neo-)extractivism – a new challenge for development theory from Latin America. *Third World Q.* 35, 468-486. DOI: 10.1080/01436597.2014.893488
- Callo-Concha, D., Denich, M., 2014. A participatory framework to assess multifunctional land-use systems with multicriteria and multivariate analyses: A case study on agrobiodiversity of agroforestry systems in Tomé Açú, Brazil. *Change Adapt. Socio-Ecol. Syst.* 1. DOI: 10.2478/cass-2014-0005
- Callo-Concha, D., Ewert, F., 2014. Using the concepts of resilience, vulnerability and adaptability for the assessment and analysis of agricultural systems. *Change Adapt. Socio-Ecol. Syst.* 1. DOI: 10.2478/cass-2014-0001
- Cuevas, V., Baca del Moral, J., Espejel, A., Barrera, A., Sosa, M., 2017. Agricultura multifuncional y sistemas de producción bajo un contexto de agricultura diversificada. En: Sámano, M., Caxa del Moral, J., (Coord.) *Agricultura multifuncional y políticas públicas en México*. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. pp. 35-51.
- Flekens, L., Duarte, F., Eicher, I., 2009. A conceptual framework for the assessment of multiple functions of agro-ecosystems: A case study of Trás-os-Montes olive groves. *J. Rural Stud.* 25, 141-155. DOI: 10.1016/j.jrurstud.2008.08.003
- Foley, J., DeFries, R., Asner, G., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S., Chapin, F., Coe, M., Daily, G., Gibbs, H., Helkowski, J., Holloway, T., Howard, E., Kucharik, C., Monfreda, C., Patz, J., Prentice, I., Ramankutty, N., Snyder, P., 2005. Global consequences of land use. *Science* 309, 570-574. DOI: 10.1126/science.1111772
- Folke, C., Colding, J., Berkes, F., 2003. Synthesis: building resilience and adaptive capacity in social-ecological systems. En: Berkes, F., Colding, J., Folke C. (Eds.), *Navigating Social-ecological systems: building resilience for complexity and change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp. 352-387.
- Gómez Sal, A., González García, A., 2007. A comprehensive assessment of multifunctional agricultural land-use systems in Spain using a multi-dimensional evaluative model. *Agric. Ecosyst. Environ.* 120, 82-91. DOI: 10.1016/j.agee.2006.06.020
- Hair, J., Tatham, R., Anderson, R., Black, W., 1998. *Multivariate data analysis*. 5<sup>th</sup> ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Hart, R., 1982. Environmental determinants of agro-ecosystem structure and function. En: *Agricultural Ecosystems: Unifying Concepts*. Ecological Society of America (AIBS). Pennsylvania State University, Philadelphia, PE.
- Leakey, R., 2012. *Living with the trees of life: towards the transformation of tropical agriculture*. CABI, Wallingford, UK.

- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), 2001. Multifunctionality, towards and analytical framework. Paris.
- Prabhu, R., Colfer, C., Dudley, R., 1999. Guidelines for developing, testing and selecting criteria and indicators for sustainable forest management. A C&I Developer's Reference No. 1: The Criteria & Indicators Toolbox Series. CIFOR, Jakarta, Indonesia.
- Rulli, M., Saviori, A., D'Odorico, P., 2013. Global land and water grabbing. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 110, 892-897. DOI: 10.1073/pnas.1213163110
- Saaty, T., 1980. The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation. McGraw-Hill; Universidad de California, Nueva York, NY.
- Yamada, M., Gholz, H., 2002. An evaluation of agroforestry systems as a rural development option for the Brazilian Amazon. *Agrofor. Syst.* 55, 81-87. DOI: 10.1023/A:1020523107243