



**HAL**  
open science

## Evaluación sistémica de la integración agricultura-ganadería con la aplicación de la metodología ENA (análisis de redes ecológicas) a nivel de la finca

Fabien Stark, Eliel González García, Harry Archimède, Charles-Henri Moulin

### ► To cite this version:

Fabien Stark, Eliel González García, Harry Archimède, Charles-Henri Moulin. Evaluación sistémica de la integración agricultura-ganadería con la aplicación de la metodología ENA (análisis de redes ecológicas) a nivel de la finca. 4. International Convention “Agrodesarrollo 2016”, Oct 2016, Varadero, Cuba. 5 p. hal-01603596

**HAL Id: hal-01603596**

**<https://hal.science/hal-01603596v1>**

Submitted on 5 Jun 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Evaluación sistémica de la integración agricultura-ganadería con la aplicación de la metodología ENA (análisis de redes ecológicas) a nivel de la finca

Fabien Stark<sup>1</sup>, Eliel González-García<sup>2</sup>, Harry Archimède<sup>3</sup>, Charles-Henri Moulin<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Agreenium, UMR Innovación, F-34060 Montpellier Cedex 2, Francia*

<sup>2</sup>*INRA, UMR SELMET, F-34060 Montpellier Cedex 1, Francia*

<sup>3</sup>*INRA, URZ, Domain Duclos, Prise d'Eau, 97170 Petit Bourg, Guadalupe, Antillas Francesas*

<sup>4</sup>*Montpellier SupAgro, UMR SELMET, F-34060 Montpellier Cedex 1, Francia*

Autor para correspondencia: [fabien.stark@iavff-agreenium.fr](mailto:fabien.stark@iavff-agreenium.fr)

### **Resumen:**

En un contexto de rarefacción de recursos, cambio climático y crisis económicas, la agricultura necesita estrategias de adaptación a todos los niveles. La agroecología propone alternativas para combinar productividad, eficiencia, resiliencia y autosuficiencia. Este trabajo propone un análisis agroecológico de la integración agricultura-ganadería (**IAG**) en sistemas mixtos (**SMAG**), planteándonos hasta qué medida la IAG mejora el comportamiento agroecológico del sistema. Se evaluaron dos hipótesis: i) la IAG puede analizarse como una red de flujo de nutrientes a nivel de la finca, si se admiten propiedades de estructura y de funcionamiento, similares a los ecosistemas; ii) el SMAG más integrado, con redes de flujo de nutrientes más complejas y diversificadas, estará en condiciones de ser un SMAG agroecológicamente atractivo (productivo, eficiente, autosuficiente y resiliente). De esta manera se desarrolló un marco metodológico fundado sobre el análisis de redes ecológicas (**ENA**) para estimar las propiedades del agroecosistema, con un gradiente y diversidad de actividades agrícolas y prácticas de IAG. El trabajo se realizó con 17 fincas mixtas presentes en 3 territorios tropicales contrastantes (Guadalupe, Cuba, y el Amazona oriental brasileño) con la modelización de sus redes de flujo de nitrógeno (N) en el período de un año. Se demostró que la IAG puede interpretarse a través de dos criterios fundamentales: la organización de la red de flujos y la intensidad de circulación del N entre las actividades de la finca. Los resultados demostraron la presencia de situaciones de IAG contrastantes y diferentes. Las fincas poco integradas tienden a ser poco eficientes, poco resilientes y poco productivas. En cambio, las explotaciones con un alto grado de integración combinan un elevado nivel de productividad y de eficiencia, aunque con un nivel intermedio de resiliencia. Con este estudio se demostró la utilidad de la metodología ENA para analizar el comportamiento agroecológico de los agroecosistemas así como también la

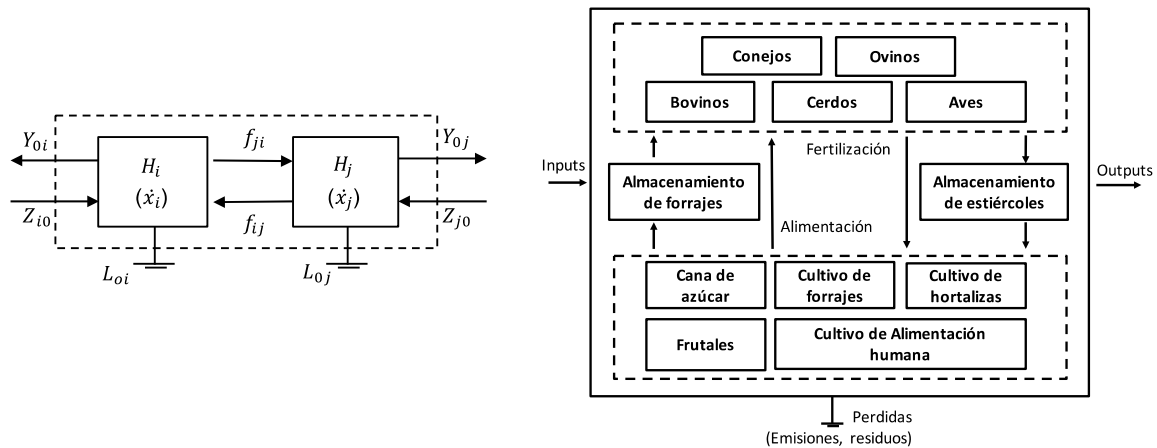
importancia de apoyarse en las herramientas de modelización en el estudio dinámico de estos sistemas complejos.

## **Introducción**

En la actualidad los sistemas agrícolas se enfrentan a retos cada vez más complejos. De ellos se demanda producir más (para poder responder al crecimiento exponencial de la demanda de alimentos) en medio de un contexto de rarefacción de recursos naturales, de cambio climático y crisis económicas que afectan los socio-ecosistemas y que requieren por tanto estrategias pertinentes de adaptación. La agroecología propone un marco teórico para concebir sistemas a la vez productivos y eficientes, resilientes y autosuficientes, capaces de responder a dichos retos (Altieri *et al.*, 2012). En el presente trabajo se realiza un análisis agroecológico de la integración agricultura-ganadería (IAG; reconocida como el conjunto de prácticas agrícolas que moviliza una serie de procesos ecológicos) en sistemas agropecuarios mixtos (SMAG; González-García *et al.*, 2012). Nos planteamos hasta qué medida la IAG puede contribuir a mejorar el comportamiento o rendimiento agroecológico de las explotaciones agrícolas (fincas) para contribuir consigo a aumentar la capacidad de resiliencia ante los retos actuales (Bonaudo *et al.*, 2013). Para abordar el tema, declinamos la problemática en dos hipótesis complementarias: i) la IAG puede ser analizada como una red de flujo de nutrientes a la escala de la finca si se admiten propiedades de estructura y de funcionamiento similares a aquellas que ocurren en los ecosistemas; ii) el SMAG más integrado, o sea con redes de flujo de nutrientes más complejas y diversificadas, estará en condiciones de ser más agroecológicamente atractivo, o sea, productivo, eficiente, autosuficiente y resiliente (Funes-Monzote *et al.*, 2009).

## **Metodología**

Para confirmar dichas hipótesis, en primer lugar desarrollamos un marco metodológico fundado sobre el análisis de redes ecológicas (ENA) con vistas a estimar las propiedades del agroecosistema (Ulanowicz, 2004). El mismo se desarrolló y validó con vistas a caracterizar por una parte la IAG a la escala de la finca y por otra medir el comportamiento global de la explotación. Para ello se utilizaron 17 fincas mixtas pertenecientes a 3 territorios enclavados en el trópico húmedo, pero con una serie de contrastes socioeconómicos los cuales, *a priori*, afectarían indirectamente el comportamiento y desarrollo de las explotaciones bajo estudio. Dichos territorios son las islas caribeñas de Guadalupe y Cuba, y el Amazona oriental brasileño. Los SMAG estudiados fueron modelizados en redes de flujo de nitrógeno (N), en el período de un año, lo cual se logró a partir de una reconstrucción derivada de varias encuestas realizadas directamente sobre el terreno (Fath *et al.*, 2007) a los productores involucrados.

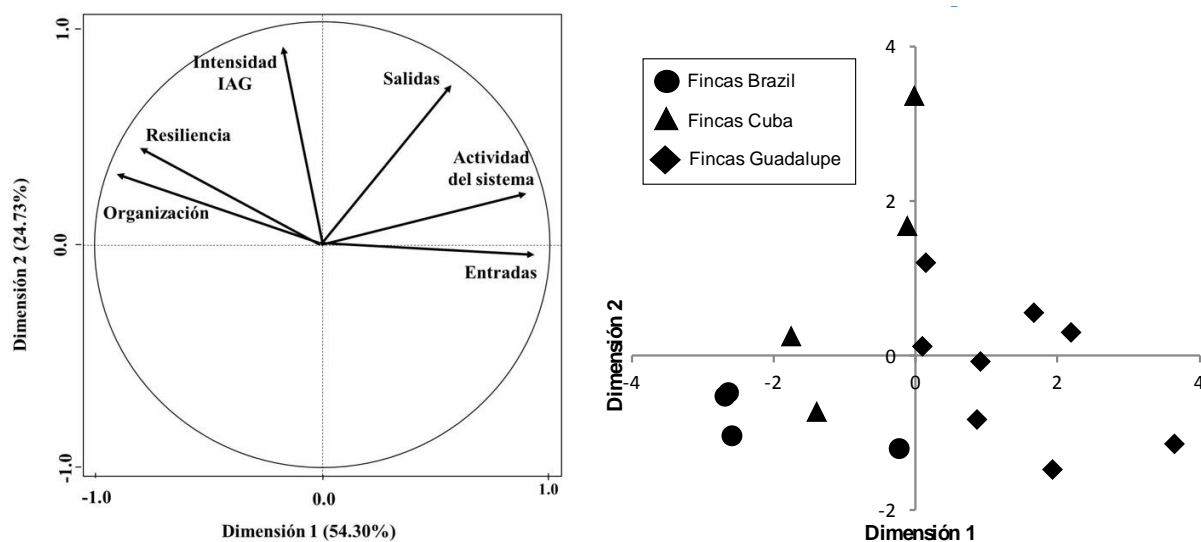


**Figura 1:** Representación del modelo de dos compartimentos en red con la información requerida para efectuar el análisis de redes ecológicas (adaptado de Finn, 1980) y el modelo conceptual común para evaluar los estudios de caso.

De acuerdo con la convención de Latham (2006), cada sistema agrícola está caracterizado por los siguientes elementos:  $n$ , número de compartimentos;  $H_i$  y  $H_j$ , los compartimentos  $i$  y  $j$ ;  $\dot{x}_i$  y  $\dot{x}_j$  los estados derivados para los compartimentos  $i$  y  $j$ ;  $f_{ji}$  los flujos internos del compartimento  $H_j$  hacia el compartimento  $H_i$ ;  $Y_{oi}$  y  $Y_{oj}$  el flujo hacia el medio exterior del compartimento  $H_i$  y  $H_j$ ;  $Z_{io}$  y  $Z_{jo}$ , el influjo desde el medio exterior hacia el compartimento  $H_i$  y  $H_j$ ;  $L_{oi}$  y  $L_{oj}$  las salidas no utilizables o pérdidas de los compartimentos  $H_i$  y  $H_j$  hacia el medio externo. Los flujos son expresados en kg N/ha/año y se trasladan de un compartimento ( $j = 0, \dots, n$ ; 0 correspondiendo a la importación desde el medio ambiente externo al sistema y  $n$  al número de compartimentos) a otro ( $i = 1, \dots, n + 1, n + 2$ ) donde  $n + 1$  contabiliza las salidas utilizables y  $n + 2$  las no utilizables o pérdidas. Los cultivos se agregan en cinco compartimentos (forraje, cultivos para la alimentación humana, caña de azúcar, frutales y cultivo de hortalizas para el mercado). Cada especie animal es representada por un compartimento (bovinos, cerdos, aves, conejos y ovinos). En el caso de los rumiantes, los pastizales permanentes y el ganado se analizan en un solo compartimento. De esta manera, el pastoreo (forraje no cultivado por el productor) y las excreciones evacuadas directamente en el área de pastoreo no se contabilizan como flujos entre los compartimentos, debido a que nuestro objetivo principal es contabilizar solo los flujos agricultura-ganadería. Dos compartimentos de almacenamiento representan el estiércol y la conservación de forrajes. De esta manera se consideran entonces los reflujos entre los compartimentos (estiércol y alimentos), flujos desde el exterior hacia el interior (fertilizantes minerales, concentrados), los flujos hacia el exterior correspondientes a los productos de origen animal y vegetal (utilizables), y finalmente las pérdidas o productos no utilizables, los cuales corresponden principalmente a las emisiones tanto provenientes del ganado como de los cultivos y el estiércol no aplicado en la finca.

## Resultados y discusión

Al considerarse el conjunto de las 17 explotaciones de los tres terrenos de estudio, se demostró que la IAG a la escala de las explotaciones puede ser apreciada a través de dos criterios principales: 1) la organización de la red de flujos y 2) la intensidad de la circulación del N entre las actividades de la explotación. Al analizar nuestra muestra según estos dos criterios, se evidencia la presencia de situaciones de IAG bien contrastadas y diferentes entre las fincas. Asimismo, se observaron tendencias generadas a partir del análisis de posibles vínculos entre IAG y comportamiento agroecológico. Es decir, las fincas poco integradas tienden a ser poco eficientes, poco resilientes y poco productivas pero por el contrario resultaron ser significativamente resilientes. En cambio, las explotaciones con un fuerte grado de integración combinan por lo general un elevado nivel de productividad y de eficiencia, aunque su grado de resiliencia resulta intermedio.



**Figura 2:** Resultados del análisis de componentes principales (ACP) en las dos primeras dimensiones (explicando el 79% de variabilidad).

**Legenda:** Organización (1-AMI/H<sub>r</sub>) sin dimensión; Resiliencia ( $\phi$ / C); CLI (*Crop-livestock integration* o integración agricultura-ganadería; Intensidad (kg N/ha/año); Productividad (kg N/ha/año); Actividad del sistema (kg N/ha/año); Dependencia (kg N/ha/año) (Rufino *et al.*, 2009; Ulanowicz, 2004)

El primer gráfico representa la distribución de las variables y muestra las correlaciones entre los indicadores de la IAG y aquellos correspondientes al comportamiento agroecológico del sistema. El segundo gráfico representa la distribución de los casos de estudio específicos, con el objetivo de identificar grupos de fincas aglomeradas en propiedades similares de acuerdo a los indicadores utilizados (Lê *et al.*, 2008).

## Conclusión

Con este estudio hemos demostrado el interés de la metodología ENA para el análisis, en un sentido y dimensión común, del complejo funcionamiento y comportamiento agroecológico de los agroecosistemas. No obstante, debemos ser conscientes que dicho comportamiento agroecológico no depende únicamente de las prácticas de IAG sino de la combinación de actividades (con sus comportamientos respectivos) al seno de un SMAG dado. La simulación de las prácticas de integración en el seno de un SMAG, con la ayuda de la modelización, deviene una pista que merita continuar su desarrollo, con vistas a estimar con mayor precisión las consecuencias de la adopción de diferentes modalidades de IAG sobre el comportamiento agroecológico global de los agroecosistemas (González-García et al., 2012).

## Referencias bibliográficas

- Altieri, M.A., Funes-Monzote, F.R., Petersen, P., 2012. Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: contributions to food sovereignty. *Agron. Sustain. Dev.* 32, 1–13. doi:10.1007/s13593-011-0065-6.
- Archimède, H., Alexandre, G., Mahieu, M., Fleury, J., Petro, D., Garcia, G.W., Fanchone, A., Bambou, J.-C., Magdeleine, C.M., Gourdine, J.-L., others, 2014. Agroecological Resources for Sustainable Livestock Farming in the Humid Tropics, *Sustainable Agriculture Reviews* 14. Springer, pp. 299–330.
- Bonaudo, T., Bendahan, A.B., Sabatier, R., Ryschawy, J., Bellon, S., Leger, F., Magda, D., Tichit, M., 2013. Agroecological principles for the redesign of integrated crop–livestock systems. *European Journal of Agronomy*. doi:10.1016/j.eja.2013.09.010.
- Fath, B.D., Scharler, U.M., Ulanowicz, R.E., Hannon, B., 2007. Ecological network analysis: network construction. *Ecological Modelling* 208, 49–55. doi:10.1016/j.ecolmodel.2007.04.029.
- Finn, J.T., 1980. Flow analysis of models of the Hubbard Brook ecosystem. *Ecology* 562–571.
- Funes-Monzote, F., López-Ridaura, S., Tittonell, P., 2009. Diversity and efficiency: The elements of ecologically intensive agriculture. *Leisa* 25, 9.
- González-García, E., Gourdine, J.L., Alexandre, G., Archimede, H., Vaarst, M., 2012. The complex nature of mixed farming systems requires multidimensional actions supported by integrative research and development efforts. *Animal* 6, 763–777. doi:10.1017/S1751731111001923.
- Latham, L.G., 2006. Network flow analysis algorithms. *Ecological Modelling* 192, 586–600. doi:10.1016/j.ecolmodel.2005.07.029.
- Lê, S., Josse, J., Husson, F., 2008. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software*. 25(1). pp. 1-18.
- Rufino, M.C., Hengsdijk, H., Verhagen, A., 2009. Analysing integration and diversity in agroecosystems by using indicators of network analysis. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 84, 229–247. doi:10.1007/s10705-008-9239-2.
- Ulanowicz, R.E., 2004. Quantitative methods for ecological network analysis. *Computational Biology and Chemistry* 28, 321–339. doi:10.1016/j.compbiolchem.2004.09.001.