



VI CONGRESSO LATINO-AMERICANO  
X CONGRESSO BRASILEIRO  
V SEMINÁRIO DO DF e ENTORNO  
**12-15 SETEMBRO 2017**  
**BRASÍLIA- DF, BRASIL**

**Tema Gerador 9**

Manejo de Agroecossistemas  
e Agricultura Orgânica



## **El diseño de sistemas agroforestales de cultivos intercalados templados: Interacciones competitivas y rendimiento de los cultivos**

*Design of alley cropping systems: competitive interactions and crop yields*

ALFONZO-LOPEZ, Dayaeth<sup>1</sup>; BELLON, Stéphane<sup>1</sup>; TCHAMITCHIAN, Marc<sup>1</sup>

<sup>1</sup> INRA, Unité Ecodeveloppement, Site AgroParc, 84914 Avignon cedex 09, France.  
dayaeth.alfonzo-lopez@inra.fr; stephane.bellon@inra.fr; marc.tchamitchian@inra.fr

**Eje temático:** Manejo de Agroecosistemas y Producción Orgánica

### **Resumen**

Este trabajo corresponde a un análisis bibliográfico de las investigaciones realizadas sobre el diseño de sistemas agroforestales (SAF) en zonas templadas. Una búsqueda bibliográfica con ayuda de ISI Web of Science, permitió establecer un número muy bajo de estudios referentes a este tema de investigación. Dichas investigaciones fueron realizadas en estaciones experimentales y mostraron como en diferentes tipos de diseño, la competencia interespecífica entre árboles y cultivos intercalados afectaban algunas funciones ecosistémicas de los SAF. Por último, se desarrolló una propuesta de cambios posibles en el tipo de investigación (i.e. articulación con los predios agroforestales) y para algunos puntos clave en el diseño de SAF con la intención de una evolución de las interacciones competitivas hacia interacciones de complementariedad.

**Palabras claves:** Agroforestería; Interacciones interespecíficas; Diseño predial.

### **Abstract**

This work corresponds to a bibliographic analysis of the research carried out on the design of agroforestry systems (AFS) in temperate zones. A bibliographic search with the help of ISI Web of Science, allowed to establish a very low number of studies related to this research topic. Such investigations were carried out in experimental stations and showed how, in different types of design, interspecific competition between trees and intercrops affected some of the ecosystemic functions of AFS. Finally, a proposal was made for possible changes in the type of research (i.e. articulation with agroforestry plots) and for some key points in the design of AFS with the intention of an evolution of the competitive interactions towards complementary interactions.

**Keywords:** Agroforestry; Interspecific Interactions; Design agricultural.

### **Introducción**

La agroforestería puede optimizar la productividad del territorio gracias al aumento de la diversidad biológica. Los sistemas agroforestales (SAF) son considerados como sistemas complejos (Farell y Altieri 1997). Dicha complejidad hace que el diseño y la gestión de estos agroecosistemas sea igualmente de naturaleza compleja (e.g. planificación espacial y temporal, multistrata funcionales, etc.). El diseño de los SAF tiene por objetivo encontrar el máximo de interacciones interespecíficas positivas (i.e. complementarias), y minimizar las competitivas, entre los diferentes componentes del agro-



VI CONGRESSO LATINO-AMERICANO  
X CONGRESSO BRASILEIRO  
V SEMINÁRIO DO DF e ENTORNO  
**12-15 SETEMBRO 2017**  
**BRASÍLIA- DF, BRASIL**

**Tema Gerador 9**

Manejo de Agroecossistemas  
e Agricultura Orgânica



cosistema. Como es ampliamente conocido, las interacciones que se generan en estos agroecosistemas pueden resultar en beneficios en las dimensiones ecológicas, sociales y económicas, así como en ventajas de sus funciones productivas (Jose 2009). Sin embargo, la agroforestería no es benéfica per se, un descenso en sus funciones productivas puede experimentarse a causa de la competencia entre los diferentes cultivos por los recursos como la luz (Benavides et al. 2009), los nutrientes (Gillespie et al. 1991) y el agua (Jose 2009).

Este trabajo se enfoca en el análisis de cuatro estudios referentes al diseño de SAF basados en la práctica de cultivos intercalados de árboles maderables asociados a cereales. Específicamente, nos interesa el tipo de interacciones que se generan entre los árboles y cultivos en los diferentes diseños de los SAF estudiados y su incidencia sobre la producción de los mismos. Adicionalmente, se presenta una propuesta de posibles cambios en el diseño del sistema que podrían conllevar a estos hacia una disminución de las interacciones interespecíficas de competencia hacia otras del tipo complementarias.

## **Metodología**

Para establecer la bibliografía necesaria para el estudio del diseño de los SAF, realizamos una búsqueda de la literatura usando ISI Web of Science, limitándonos a la que había sido publicada a partir de Enero 2010. La búsqueda se enfocó, en los estudios que reportaran los efectos del diseño de SAF sobre el rendimiento de los cultivos. Dicha búsqueda fue guiada por el uso de 20 términos que describen los diferentes tipos de prácticas agroforestales, especificados en Pumariño et al. (2015) y 6 términos asociados al diseño de los sistemas agrícolas. Posteriormente, se seleccionaron los artículos que describían los aspectos del diseño asociados a la planificación espacial y temporal del SAF.

En la Tabla 1 se presenta un resumen del diseño de cada SAF (arreglo agroforestal y la estructura del sistema) existente en la bibliografía encontrada a través de ISI Web of Science. Dichos estudios fueron realizados en estaciones experimentales y tenían por objetivo estudiar la incidencia del diseño del sistema sobre la producción de biomasa y el almacenamiento de carbono en Fang et al. (2010), el rendimiento temporal y espacial de los cultivos en Udawatta et al. (2014) y por ultimo las interacciones por debajo del suelo como fertilidad y distribución de la raíces en Zhang et al. (2013) y Yang et al. (2016) respectivamente, ambos mostrando igualmente el efecto sobre el rendimiento. Fang et al. (2010) y Zhang et al. (2013) compararon tres diferentes configuraciones del



VI CONGRESSO LATINO-AMERICANO  
X CONGRESSO BRASILEIRO  
V SEMINÁRIO DO DF e ENTORNO  
**12-15 SETEMBRO 2017**  
**BRASÍLIA- DF, BRASIL**

**Tema Gerador 9**

Manejo de Agroecossistemas  
e Agricultura Orgânica



SAF, mientras que Udawatta et al. (2014) y Yang et al. (2016) evaluaron las diferencias espaciales en producción dentro de las banda de cultivos intercalados, para un tipo de diseño dado.

## Resultados y Discusión

La búsqueda bibliográfica resultó en un número pequeño de artículos (N=4) que especificaban el diseño de los SAF en zonas templadas y sus efectos sobre las diferentes funcionalidades de estos sistemas. Todos fueron desarrollados en estaciones experimentales, lo cual es importante porque permiten realizar ensayos y sus replicas manipulando un número de determinadas variables (e.g. diferentes arreglos espaciales y temporales de árboles y cultivos). Sin embargo, esto también significa la ausencia de este sujeto de estudio en predios o en parcelas agrícolas.

En cuanto al análisis en si, los cuatro estudios muestran una reducción significativa en la producción de biomasa o en el rendimiento de los cultivos para cada tipo de SAF estudiado (Tabla 2 y 3). En Fang et al. (2010), se observa la mayor reducción de producción de biomasa de los tres cultivos en la configuración B, parcela que correspondía a la banda intercultivo más estrecha (i.e. 10 m). Zhang et al. (2013) obtienen el menor rendimiento del trigo en la parcela de árboles de Jojoba de 6 años de edad, donde estos arboles maduros proyectaban la mayor sombra sobre los cultivos y en la cual las raíces de estos arboles afectaron mayormente la densidad de las raíces del trigo. Tanto en Udawatta et al. (2014) y Yang et al. (2016) los rendimientos de los cultivos fueron significativamente menores en la zona del ecotono entre los árboles y los cultivos que en la zona central de la banda intercultivo (Tabla 3). Disminución asociada al efecto de la sombra de los árboles, o sea a la modificación de la radiación fotosintéticamente activa (RFA) y al efecto negativo de los arboles al disminuir la humedad relativa del suelo y los nutrientes como nitratos, P y K en esta zona (Yang et al. 2016). En todas las investigaciones, el maíz representó el cultivo más afectado, evidentemente por ser una planta con un metabolismo fotosintético del tipo C4, con altos requerimientos de luz para la producción de biomasa (Gliessman 2014).



**Tabla 1.** Diseños de los sistemas de agroforestales de cultivos intercalados de árboles maderables y cereales

Arreglo Agroforexstal	Estructura del sistema	Refe- rencia
Cultivo intercalado de Álamo ( <i>Populus tremula</i> ), rotación de cereal: Trigo - Soya ( <i>Triticum aestivum</i> - <i>Glycine max</i> ) Trigo - Maíz ( <i>Zea mays</i> )	Tres tipos de configuraciones de árboles: (A) 250 árboles ha <sup>-1</sup> , en dobles filas de álamos en arreglos de por 4 m x 4 m x 16 m. Tres hileras de dobles filas, separadas entre ellas por 16 m. (B) 167 árboles ha <sup>-1</sup> , en filas simples en arreglo de 10 m x 6 m. (C) 94 árboles ha <sup>-1</sup> , con una disposición en forma de cinturón vegetal rompe-viento, en arreglo de 2 m entre los árboles y de 200 m x 100 m de largo. Doble cinturón de álamos. Orientación de las parcelas: norte-sur. Sistema de cultivos doble anual. Densidad de siembra para el trigo 130–140 kg ha <sup>-1</sup> la soya de 80–90 kg ha <sup>-1</sup> y para el maíz de 40–50 kg ha <sup>-1</sup>	Fang et al. (2010)
Cultivo en callejones de Arce plateado ( <i>Acer saccharinum</i> ). rotación de cereal: Maíz y Soya	Configuración de árboles en 8 filas simples en arreglos de 20 m x 3.6 m. Cada fila de 91 m de largo. Orientación de la parcela: este-oeste. Cultivo anual sembrado en los pasillos de 20 m. Un área tampón de 3 m de las raíces de los árboles fue dejada a ambos lados del callejón.	Udawatta et al. (2014)
Cultivo intercalado de Jujuba ( <i>Zizyphus jujuba</i> ) y Trigo ( <i>Triticum aestivum</i> )	Tres sistemas de cultivos intercalados Jujube-Trigo: (A) Dos filas de árboles de 2 años de edad con un área intercultivo de 0,9 m de ancho (6 hileras con una distancia 0,15 m entre hileras). Árboles plantados en camellones de 2 m de ancho, con 1.1 m de separación entre los árboles de la fila. Distancia entre la fila de árboles y fila más cercana de trigo 0,55 m. Área de ocupación de la parcela: 55% por árboles y 45% trigo. (B) Dos filas de árboles de 4 años de edad, con un área intercultivo 4,50 m de ancho (30 hileras de trigo con 0,15 m distancia entre hileras). Árboles plantados en camellones de 6 m de ancho, con 1 m separación entre los arboles de las filas. Distancia entre la fila de árboles y la fila más cercana de trigo 0,75 m. Área de ocupación de la parcela: 25% por árboles y 75% trigo. (C) Dos filas de árboles de 6 años de edad con un área intercultivo 1,80 m de ancho (12 hileras de trigo con 0,15 m distancia entre ellas). Árboles plantados en camellones de 3 m de ancho, con 2 m de separación entre los arboles de las filas. Distancia entre árboles y la fila más cercana de trigo 0,60 m. Área de ocupación de la parcela: 40% por árboles y 60% trigo. La densidad de trigo intercalado fue 11.250.000 plantas ha <sup>-1</sup> .	Zhang et al. (2013)
Cultivo intercalado de Jujuba ( <i>Zizyphus jujuba</i> ) y con rotación de Trigo invierno – Maíz verano	Configuración de árboles en 2 filas simples, en un arreglo de 15 m entre las columnas de árboles y 3 m entre los arboles dentro de cada columna. Orientación de las parcelas: Norte – Sur. Sistema de cultivos doble anual. Sembrado con una banda tampón de 1.2 o 2 m para el trigo y el maíz respectivamente.	Yang et al. 2016



Tabla 2. Porcentaje de reducción en la producción de biomasa total (Fang et al. 2010) y en el rendimiento (Zhang et al. 2013) de los cultivo intercalados para las tres configuraciones diferentes de SAF.

Tipo de cultivo	Tipo de diseño			Referencia
	A	B	C	
Trigo	- 8.1	- 18.7	-	
Maíz	- 29.0	- 40.1	-	Fang et al. (2010)
Soja	- 19.3	- 18.4	-	
Trigo	- 7.5	- 17.7	- 30.4	Zhang et al. 2013

Tabla 3. Porcentaje de reducción en el rendimiento de los cultivos intercalados en tres distancias en la banda de intercultivo en dos diferentes SAF

Tipo de cultivo	Tipo de diseño			Referencia
	1	2	3	
Maíz	- 86	- 24	-	Udawatta et al. (2014)
Soja	- 77	- 24	-	
Trigo	- 9.2	- 4.8	- 7.3	
Maíz	NM	- 30.3	- 14.3	Yang et al. 2016

Udawatta et al. (2014): 1=3.3 m, 2=6.7 m, 3=10m. Yang et al. 2016: 1=1.5 m, 2=2.5 m, 3=3.5, NM= no hubo muestreo del cultivo en esta distancia.

Los Resultados evidencia lo ya ampliamente conocido, que en determinados diseños de los SAF las interacciones competitivas afectan negativamente la producción de los cultivos. Entonces, ¿qué hacer para movilizar estas interacciones negativas en los SAF, hacia unas de complementariedad entre sus componentes? En primer lugar, se deben articular las investigaciones del diseño de SAF templados dentro de predios agrícolas para profundizar el conocimiento de sus funciones ecosistémicas. El objetivo será diseñar sistemas con una alta productividad pero también con una alta complejidad y que sean sistemas resilientes (Lovell et al. 2017). Entonces se debe realizar un (re)-diseño más cerca en su estructura y función a las comunidades vegetales naturales (Malézieux 2012), que significa una diversificación en tres dimensiones, espacial (horizontal y vertical) y temporal de los cultivos. Una selección de especies que ocupen diferentes tipos de nichos tanto aéreos como subterráneos. Una opción es la inclusión de plantas C3 por las plantas C4, plantas leguminosas y plantas con diferentes tipos de raíces en la zona del ecotono en las zonas del ecotono (e.g trinomio maíz-frijol-calabaza). Otra alternativa es la planificación del espacio dentro de las parcelas (expansión



VI CONGRESSO LATINO-AMERICANO  
X CONGRESSO BRASILEIRO  
V SEMINÁRIO DO DF e ENTORNO  
**12-15 SETEMBRO 2017**  
**BRASÍLIA- DF, BRASIL**

**Tema Gerador 9**

Manejo de Agroecossistemas  
e Agricultura Orgânica



del espacio, orientación este-oeste de la parcela) (Zhang et al. 2013). Por último, crear zona donde la luz pueda ser más apropiada (i.e. talla de los árboles,) para uno o varios cultivos a la vez.

## Conclusiones

Los conocimientos científicos sobre el diseño de SAF templados y su efecto sobre las funciones ecosistémicas, producidos en predios donde se lleven a cabo esta practica agroforestal, son casi inexistentes. Las investigaciones sobre el diseño de SAF de zonas templadas deben entonces ser desarrolladas en los predios agroforestales y deben también ser articuladas con los agricultores y campesinos que las ponen en practica. Un cambio en el diseño de estos agroecosistemas también es necesario para minimizar la interacciones con efectos negativos y aumentar las interacciones complementarias o sinérgicas. Estos (re)-diseños deben ir dirigidos hacia la mimetización de la naturaleza, es decir, la diversificación del sistema en tres dimensiones, la selección de especies que ocupen diferentes nichos ecológicos, una nueva planificación del espacio de siembra y la modificación microclimática de las parcelas.

## Referencias bibliográficas

BENAVIDES, R.; DOUGLAS, G.B.; & OSORO, K. Silvopastoralism in New Zealand: Review of effects of evergreen and deciduous trees on pasture dynamics. *Agroforestry Systems*, v.76, p. 327 – 350, 2009.

FANG, S. ; LI, H. ; SUN, Q. & CHEN, L. Biomass production and carbon stocks in poplar-crop intercropping systems: a case study in northwestern Jiangsu, China. *Agroforestry systems*, v.79, p.213-222, 2010

GILLESPIE, A.R. ; JOSE, S. ; MENGEL, D.B. ; HOOVER, W.L., et al. Defining competition vectors in a temperate alley cropping system in the midwestern USA: 1. Production physiology. *Agroforestry systems*, v.48, p.25-40, 2000

GLIESSMAN, S. R. *Agroecology: the ecology of sustainable food systems*. CRC press, 2014.

JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry systems*, v.76, p.1-10, 2009.

LOVELL, S.T. ; DUPRAZ, C.; GOLD, M.; JOSE, S., et al. Temperate agroforestry research: considering multifunctional woody polycultures and the design of long-term field trials. *Agroforestry Systems*, p.1-19, 2017.



VI CONGRESSO LATINO-AMERICANO  
X CONGRESSO BRASILEIRO  
V SEMINÁRIO DO DF e ENTORNO  
**12-15 SETEMBRO 2017**  
**BRASÍLIA- DF, BRASIL**

**Tema Gerador 9**

Manejo de Agroecossistemas  
e Agricultura Orgânica



MALEZIEUX, E., Designing cropping systems from nature. *Agronomy for sustainable development*, v.32, p.15-29, 2012.

PUMARIÑO, L.; SILESHI, G.W.; GRIPENBERG, S.; KAARTINEN, R., et al. Effects of agroforestry on pest, disease and weed control: a meta-analysis. *Basic and Applied Ecology*, v.16, p.573-582, 2015.

UDAWATTA, R.P.; MOTAVALLI, P.P.; JOSE, S. & Nelson, K.A. Temporal and spatial differences in crop yields of a mature silver maple alley cropping system. *Agronomy Journal*, v.106, p.407-415, 2014.

YANG, L.; DING, X.; LIU, X.; LI, P. & ENEJI, A.E. Impacts of long-term jujube tree/winter wheat–summer maize intercropping on soil fertility and economic efficiency—A case study in the lower North China Plain. *European Journal of Agronomy*, v.75, p.105-117, 2016.

ZHANG, W.; AHANBIEKE, P.; WANG, B.J.; XU, W.L.; et al. Root distribution and interactions in jujube tree/wheat agroforestry system. *Agroforestry systems*, v.87, .929-939, 2013.