



SISTEMAS AGROFORESTALES ¿PASADO O FUTURO?

Arribas Lumbreras, Teresa¹; Blas Morente, Alejandro¹
Tutores: Barreiro, Pilar¹; Hernández, Carlos²

¹Departamento de Ingeniería Rural. E.T.S.I. Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid

²Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia. E.T.S.I. Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid
Correo electrónico (AUTORES): teresarri@hotmail.com, a.blas.morente@gmail.com

RESUMEN

Los sistemas agroforestales han sufrido un decrecimiento continuo durante las últimas décadas, en especial en países de la UE debido a la PAC. La estimación para el año 2050 según la FAO indica la necesidad de aumentar considerablemente la cantidad de alimentos, y por tanto dichos sistemas mixtos árbol-cultivo pueden convertirse en técnicas efectivas y rentables de cultivo. Mediante la exposición de dos casos prácticos, en Colombia y España, se describirá cómo los sistemas agroforestales pueden implantarse tanto en países en vías de desarrollo como dentro de la UE. El uso y adaptación de maquinaria moderna, mediante agricultura de precisión y robótica, será esencial en el éxito o fracaso de dichos sistemas agroforestales.

Palabras clave: *sistemas agroforestales, futuro, maquinaria.*

INTRODUCCION

Si nos remitimos a los estudios y previsiones para un futuro cercano, la necesidad alimentaria para el 2050 será de 70% superior a la actual, debido a los 9100 millones de personas que se estima habitarán la tierra (FAO 2010). Actualmente, la superficie terrestre cultivable es el 11% del total, lo que se traduce en, o bien en aumentar la superficie actualmente puesta en cultivo o en incrementar la producción del ya existente. Se ha de tener en cuenta, que las superficies más idóneas para la agricultura ya están en uso, por lo que cabe pronosticar que las nuevas superficies utilizadas serán menos idóneas o estarán reservadas para otros fines.

Habitualmente, los suelos que reúnen las condiciones más idóneas para la agricultura también lo suelen hacer para bosques y terrenos forestales. Esto ha llevado, en muchos casos, a la ruptura del equilibrio entre ambos y a la deforestación de importantes reservas de bosques.

Las formaciones que integran cultivos agrícolas y estrato arbolado son conocidas como sistemas agroforestales, y son considerados como una tipología de policultivo. Su gran interés radica en su multifuncionalidad.

El tratamiento y estudio de estos sistemas, no puede ni debe hacerse con las mismas consideraciones para países en desarrollo y para países desarrollados. En los primeros, los sistemas agroforestales, incluida la tumba-quema-roza, han sido una tradición y una práctica aplicada durante siglos por infinidad de comunidades de América Latina, Asia y África localmente con un enfoque de subsistencia. Actualmente, muchos de los sistemas implicados han dejado de ser eficaces por el aumento de población y por la necesidad de aumentar la productividad, pero otros han sido adaptados y han logrado una buena rentabilidad.

En los países desarrollados, sin embargo, el aumento de la productividad, especialización, genotipos, tratamientos y tecnificación, han provocado desde hace varias décadas una intensificación en el manejo, tanto de los cultivos agrícolas como de las especies forestales. Aunque en España y Europa se han practicado algunos de estos sistemas (olivo con cereal), todos ellos han disminuido su superficie (Moreno, 2004).



A nadie le cabe la menor duda de la necesidad mundial del aumento de la productividad de la agricultura ni de la conservación y mejora de la situación actual de los bosques, y es por eso que aquí se plantea la posibilidad de integrar ambos sistemas desde varios puntos de vista. Siendo el punto de partida de esta comunicación, la hipótesis de que una nueva maquinaria tiene que ser adaptada a la fitotecnia, y no a la inversa cómo se ha realizado durante los últimos años

A continuación se analizan dos casos prácticos, uno en Colombia y otro en España, que emplearemos como marco de reflexión para realizar nuevas propuestas en el ámbito agroforestal.

CASO 1: PRODUCCIÓN DE PLÁTANO-CACAO-NOGAL EN COLOMBIA

Aunque lo más habitual es encontrar casos de sistemas agroforestales destinados al autoabastecimiento de pequeñas poblaciones, cada vez es más común encontrar casos de zonas donde se desarrollan e investigan cultivos mixtos sostenibles, intensivos y rentables (Wadsworth, 2000). Dentro del primer tipo, encontramos sistemas agroforestales compuestos por maíz, judías, mandioca, etc. con un estrato arbóreo de especies como la teca.

El caso expuesto pertenece al segundo tipo, y lo encontramos en una finca de Colombia, con visión de producción intensiva permanente de las tres especies: plátano, cacao y nogal (Aranzazu et al., 2004)

La granja se ubica en una zona típica cafetera baja, con una altitud media de 1.000 m, precipitación de 2.300 mm anuales, con 2.200 horas de luz solar y una temperatura media de 23 °C. Los suelos son volcánicos profundos, con textura franca y alto contenido en materia orgánica.

Las especies implicadas son Nogal cafetero (*Cordia alliodora*) – Cacao (*Theobroma cacao* L) – Plátano (*Musa paradisiaca*). Del cacao se han usado clones o híbridos adaptados a la zona, y del plátano la variedad Dominico Hartón.

El modelo establecido es de tipo secuencial, evitando así la excesiva sombra de los nogales para el plátano y cacao, y ninguna de las fases del cultivo se realiza de manera mecanizada.

El ciclo comienza con la introducción de la semilla de plátano, con una densidad entre 2000 y 2660 pl/ha en marcos de 2 × 2,5 m ó 1,5 × 2,5 m. Éste se explota de manera intensiva 3 años, al cabo de los cuales se elimina. Entre las líneas se cultivan leguminosas. A los 8 meses, se introducen el cacao y el nogal, el primero con una densidad de 1450 pl/ha con un marco de 2,5 × 2,5 × 3 m y el segundo con una densidad de 208 pl/ha con un marco de 16 × 3 m. El cacao produce de manera constante desde el 5° al 15° año. El año 15 se realiza el aprovechamiento de la madera de Nogal y se finaliza el ciclo.

Los rendimientos del sistema dan una media de 27 t/ha de plátano para los 3 años durante los que se explota, mediante los que se recupera la inversión realizada para el establecimiento y se costean las labores de mantenimiento durante el resto del ciclo. El Cacao produce fruto comercializable desde el 2° año, estabilizándose a partir del 5° en 2.000 kg/ha y año y la madera de Nogal se comercializa el año 15°, con una media de 130 m³ /ha.

El análisis del sistema revela que se podrían incrementar los rendimientos manteniendo el cultivo del plátano hasta el 5° ó 6° año, aumentando la densidad del estrato arbóreo, o bien variando los marcos de plantación (al tresbolillo con diferentes marcos) usando un sistema de mecanización adaptado a esta nueva distribución.



CASO 2: PRODUCCIÓN DE CHOPO-MAIZ EN EL NORTE DE ESPAÑA

Los sistemas agroforestales y en general el arbolado en sistemas agrarios ha sufrido una pérdida acusada y progresiva de superficie y producción en las últimas décadas, en detrimento de sistemas de cultivo herbáceos, siendo el monocultivo el más predominante (Moreno, 2004). Dicho decrecimiento, se ha dado en la gran mayoría de países europeos, debido a diversos factores como la mecanización o cambio de modelo económico del medio rural, pero sobre todo, debido a la política agraria común (PAC), la cual solo subvenciona a sistemas agrarios o forestales por separado, impidiendo por tanto el uso de sistemas mixtos.

SAFE (Silvoarable Agroforestry For Europe) nace en Europa con el objetivo de defender la idea de la cultivos agroforestales donde el policultivo de árboles y cultivos herbáceos puede incrementar los beneficios a los agricultores, así como crear una agricultura más respetuosa con el medio ambiente debido a una mayor biodiversidad. Un sistema agroforestal especialmente atractivo es: árbol-cereal, sistema extendido desde el norte de Italia hasta el resto de Europa (Eichhorn et al. 2006) donde se puede incrementar hasta un 30% la producción en comparación con cultivos separados (Dupraz et al., 2004).

Aunque en España sólo alrededor del 5,2 % de las tierras labradas presentan sistemas agroforestales, y sólo el 4,9% de los cultivos herbáceos se realizan en parcelas con arboles (Moreno, 2004), se expondrá un caso de producción conjunta de chopo y maíz en el norte de España. El chopo utilizado podrá ser el híbrido I-214, ampliamente usado en España. El maíz será cualquier híbrido adaptado a la zona, con ciclo FAO de 400-500. La parcela se situará en León, con una altitud media de 700m, precipitación de 1000 mm anuales, y con abundancia de heladas.

La propuesta sería: plantación de chopos en febrero en el año 1, con una densidad de 400 árboles/ha, con un marco de plantación de 5 × 5 m, y una rotación de 10 años. A los tres meses de la plantación del chopo, en mayo, se siembra el híbrido de maíz de grano, con una densidad de 7,1 pl/m², y un marco de siembra cuadrado de 37,5 × 37,5 cm. Dicha siembra se realizará entre las líneas de plantación del chopo, dejando una distancia de seguridad de 0,625 m a cada lado del árbol, y por tanto sembrando 10 líneas de maíz en los 3,75 metros restantes. Se necesitaría por tanto una siembra de precisión. Durante los 10 años de turno del chopo, los nueve primeros se explotan de manera intensiva la plantación de maíz, cultivando de mayo a octubre. El último año, no se siembra maíz y se deja en barbecho para posible pastoreo, y al finalizar se realiza el aprovechamiento de la madera de chopo.

Sería por tanto un sistema bastante más biodiverso, y por tanto más respetuoso con el medio ambiente que los sistemas monocultivos tan extendidos hoy en día. Además, sería un sistema rentable y productivo, ya que como demuestran diversos estudios (Turgut et al., 2005; Barbieri et al., 2008), el maíz en marcos cuadrados puede obtener una mayor producción y rendimiento que con marcos rectangulares tradicionales. Además en el año 10 obtendríamos beneficios por la venta de la madera de chopo.

ADAPTACIÓN DE NUEVA MAQUINARÍA Y REDES DE SENSORES COMO EVALUACIÓN MICROCLIMÁTICA EN SISTEMAS AGROFORESTALES

Se está empezando a implantar una nueva maquinaria para la agricultura, y a corto-medio plazo, la agricultura de precisión y la robótica serán herramientas imprescindibles en el mundo agrario. Por ello, los sistemas agroforestales y la nueva maquinaria deberán caminar juntos desde el inicio, para lograr sistemas productivos y rentables.

En los casos prácticos expuestos de Colombia y España, serían necesarias pequeñas máquinas autónomas inteligentes (robots), capaces de desplazarse por el cultivo en



marcos más estrechos y entre los árboles, y así se adaptaría una nueva maquinaria a sistemas fitotécnicos productivos.

Siembra, escarda selectiva o recolección, están siendo objetos de estudio en la agricultura de precisión mediante la aplicación de sistemas geo-referenciados de alta precisión, y su uso en sistemas agroforestales es totalmente aplicable.

Para lograr una siembra precisa entre líneas de árboles y con nuevos marcos, pueden ser aplicados nuevos sistemas de siembra como GeoSeed (medalla de plata Agritechnica 2009). Con un sistema de señal GPS RTK, y accionamiento eléctrico de las unidades de siembra, se logra una colocación precisa de la semilla en el suelo siguiendo patrones no convencionales, como marcos cuadrados o al tresbolillo en maíz (Gall et al. 2011).

Una nueva maquinaria para una escarda selectiva también podrá ser fácilmente aplicable en sistemas agroforestales. Gracias a esta nueva maquinaria, las malas hierbas pueden ser controladas en el espacio entre líneas de cultivo, entre plantas, entre árboles y como no, en el espacio árbol-cultivo. Las nuevas técnicas utilizan sistemas de detección por imágenes de las malas hierbas presentes, mediante cámaras acopladas a las máquinas. Otros métodos utilizados recientemente, pueden, de forma precisa controlar las malas hierbas, con el uso de pequeñas máquinas autónomas (con cámaras y sensores de velocidad), con un brazo de soporte y tres o más brazos secundarios unidos a él que giran alrededor del eje horizontal por encima de la hilera de plantas (Rath 2011).

Otras tecnologías de gran interés son las redes de sensores inalámbricos de bajo coste que permiten verificar los efectos de los nuevos sistemas agroforestales sobre aspectos micro-climáticos como temperatura y humedad del suelo, radiación solar, nutrientes... (Green et al., 2009; López Riquelme, 2009; Lee et al., 2010). Serán especialmente válidos y aplicables aquellos que permitan evaluar las zonas de sombreado mediante sensores matriciales de fotodiodos de bajo coste, para el cultivo correcto de cereales o leguminosas entre líneas de árboles.

CONCLUSIONES

Los sistemas agroforestales, en desuso durante los últimos años, pueden suponer en el futuro sistemas agrarios productivos y más respetuosos con el medio ambiente. Para ello, nuevas técnicas de cultivo como las expuestas, tendrán que tener una mecanización adaptada a ellas, para así maximizar su producción. La nueva maquinaria de precisión y la robótica jugarán un papel muy importante en dicha adaptación, ya sea en países emergentes y en vías en desarrollo o en países de la UE, donde debido la política de subvenciones a la agricultura ha supuesto un freno a los sistemas agroforestales.

BIBLIOGRAFÍA

- Aranzazu F., Agudelo A., Grisales A., 2004. Memoria del taller regional de intercambio de experiencias "Tecnologías Locales en Agroforestería". Colombia. Realizado por MAELA.
- Barbieri P. A., Echeverría H. E., Sainz Rozas H. R., Andrade F. H. (2008). *Agronomy Journal*, 100, 1094-1100.
- Dupraz C., Liagre F., Odette M., Gerry L., 2004. IUFRO Division 1 Conference: Silvicultural Research in a changing world.
- Eichhorn M.P., Paris P., Herzog F., Incoll L.D., Liagre F., Mantzanas K., Mayus M., Moreno G., Papanastasis V.P., Pilbeam D.J., Pisanelli A., Dupraz C. 2006. *Agroforestry Systems* 67:29-50.
- FAO (2010). *How to feed de World in 2051*
- Gall C., Knappenberger T., Köller K., 2011. *Agricultural Engineering* 2011 23: 69-73
- Green O., Nadimi E. S., (2009). *Computers and Electronics in Agriculture* 69(2): 149-157.
- Lee W. S., Alchanatis, V., Yang C., Hirafuji M., Moshou D., Li C., (2010) *Computers and Electronics in Agriculture* 74(1): 2-33.
- López Riquelme J. A., Soto, F. (2009). *Computers and Electronics in Agriculture* 68(1): 25-35.
- Moreno G., 2004. Ingeniería Técnica Forestal, Universidad de Extremadura
- Rath T. 2011. *Agricultural Engineering* 2011 23: 95-100
- Turgut, I., Duman, A., Bilgili, U., & Acikgoz, E. (2005). *J. Agronomy & Crop Science* (191), 146-151.
- Wadsworth F.H., 2000. Departamento de Agricultura EE.UU. Servicio Forestal Manual de Agricultura 710-S.