

## **Manejo silvopastoral para la producción de madera de calidad: bases funcionales, productividad y servicios ambientales**

LÓPEZ DÍAZ, M.L., MORENO, G. y BERTOMEU, M.

Grupo de Investigación Forestal, Universidad de Extremadura, Avda. Virgen del Puerto 2, 10600 Plasencia (Cáceres)

### **Resumen**

En la última década han aumentado considerablemente las plantaciones forestales realizadas con frondosas productoras de madera de calidad. Para obtener productos de calidad a turnos cortos se ha optado por un manejo intensivo, basado en un consumo elevado en energía e insumos, con altos costes económicos y ambientales. El control de la vegetación herbácea y la fertilización son dos de las prácticas más críticas. El manejo silvopastoral y la implantación de praderas de leguminosas podría permitir reducir los costes económicos de estas plantaciones, así como optimizar las funcionales ambientales de las mismas. El objetivo de este proyecto es estudiar la respuesta del nogal en cultivos intensivos (i) con distintas técnicas de control del estrato herbáceo, química y mecánica (desbroce y laboreo), y pastoreo (manejo silvopastoral), y (ii) comparando la fertilización mineral (en N y P) con la implantación de leguminosas. A su vez se valoran sus implicaciones ambientales mediante la evaluación del control del lixiviado de nitratos. Este estudio se realizará en diversas plantaciones intensivas de Extremadura de entre 8 y 13 años. Los resultados obtenidos indican que el crecimiento del arbolado se incrementó mediante la aplicación de fertilización inorgánica combinada con el riego, así como con el laboreo, si bien estos tratamientos provocaron un incremento en la lixiviación de nitrato.

### **Palabras clave**

Sistema silvopastoral, lixiviación de nitratos, nogal, abono verde.

### **1. Introducción**

La Unión Europea, y España en particular, es deficitaria en madera, especialmente en madera de calidad (las denominadas maderas nobles). La gran tasa de importación de madera y derivados en la UE (en torno al 60%) y en España (alrededor del 40%), junto con las previsiones de crecimiento del consumo en un futuro próximo y las limitaciones de las extracciones de madera en los bosques tropicales, convierten al sector forestal en estratégico y algunas medidas políticas en el ámbito de la Unión Europea van encaminadas a potenciarlo (MCADAM, 2005). El empleo de frondosas productoras de madera de calidad se contempla como una vía con grandes perspectivas de mercado futuro. Existe, de hecho, un interés creciente por parte de numerosos propietarios hacia estas especies, que además son compatibles con el resto de labores agrícolas/ganaderas y que se adecuan a los requisitos del protocolo de Kyoto (MONTERO et al., 2003). En la última década han surgido diversas iniciativas, mayoritariamente privadas y alguna pública, de cultivo de diferentes especies arbóreas productoras de madera de calidad: nogal (*Juglans regia*, *Juglans nigra* y sus híbridos), cerezo (*Prunus avium*, *Prunus serotina*), robles (*Quercus rubra*) ... Algunas de estas iniciativas son las emprendidas por Bosques Naturales, Foresta Capital S.L., F.I Reforestaciones, Maderas Nobles de la Sierra del Segura, Confederación Hidrográfica del Guadiana ...

Estas plantaciones se gestionan en régimen intensivo, llevando a cabo una serie de operaciones selvícolas, como son las labores de podas, fertilización, riego, aplicación de herbicidas ... que están encaminadas a incrementar el crecimiento del arbolado, reducir los turnos de corta, e incrementar la calidad de los productos obtenidos y, por tanto, el beneficio final. En el caso del nogal existen experiencias en España en las que se ha pasado de los turnos tradicionales 50-60 años a 20-25 años con este tipo de prácticas. El principal problema es que estas operaciones suponen un coste importante durante largos años en los que no existen ingresos provenientes de la plantación. En concreto, el coste de estas labores puede llegar a suponer un 45% de los gastos asumidos en la vida de la plantación forestal (RIGUEIRO-RODRÍGUEZ et al., 2009). Pero además, estas prácticas de manejo tienen en muchos casos los costes ambientales propios de la agricultura intensiva (e.g., contaminación difusa por nitratos, fosfatos y herbicidas, empobrecimiento en C del suelo, pérdida de biodiversidad (BABCOK et al., 2003). Una de las labores más importantes, principalmente en los primeros años de instalación de la plantación, es el control de la competencia de la vegetación herbácea y arbustiva, y que puede competir fuertemente con los árboles, especialmente en las edades juveniles, a la vez que se incrementa el riesgo de incendios. El método de control más empleado para reducir la competencia de esta vegetación es la aplicación de herbicida, a pesar de su coste, tanto económico como medioambiental (MCADAM & SIBBALD, 2000). La aplicación continuada de herbicidas genera suelos fuertemente minerales, con escaso contenido en materia orgánica y alta dependencia de fertilizantes (STOATE et al., 2001).

La implantación de sistemas silvopastorales en esas masas forestales es una práctica de manejo de creciente interés, por mostrar alta eficiencia económica y ambiental (RIGUEIRO-RODRÍGUEZ et al., 2009). Los sistemas silvopastorales son ecosistemas complejos en los que se combina la producción de madera (a largo plazo) con la de pasto (anual), y que son el resultado de las interacciones existentes entre cuatro componentes: suelo, arbolado, pasto y animales. La base es simple: la vegetación competidora es controlada mediante pastoreo. Éste reduce la utilización de agroquímicos e implica un producto adicional del sistema. Adicionalmente, el pastoreo en plantaciones forestales reduciría notablemente el riesgo de incendios, a la vez que permitiría obtener carne de ganado bovino, ovino, equino o caprino.

Otra de las labores que implican un importante coste, tanto económico como ambiental, es la fertilización, que resulta necesaria para incrementar el crecimiento del arbolado y por tanto la reducción de turno de corta y el tiempo de recuperación de la inversión. La utilización de leguminosas, con incorporación en verde al suelo, o simplemente triturada o pastoreada ha sido aplicada como mecanismo de autofertilización, mostrándose generalmente con resultados muy satisfactorios (FAO, 1997). Se trata de una técnica que se ha empleado tradicionalmente en la rotación de los cultivos agrícolas y que actualmente se está poniendo de actualidad como alternativa a los fertilizantes sintéticos (MCCARTNEY & FRASER, 2010). Se basa en la capacidad que tienen las leguminosas de fijar nitrógeno atmosférico como consecuencia de las relaciones simbióticas que establecen con bacterias del género *Rhizobium*. Este nitrógeno se incorpora a sus tejidos y, cuando éstos son incorporados al suelo, lo liberan tras sufrir un proceso de mineralización (WHITEHEAD, 1995). Estos aportes se producen gradualmente, con lo que se reducen significativamente los problemas de contaminación por nitratos respecto a los fertilizantes inorgánicos (MARINARI et al., 2010). Además, la implantación de praderas ricas en leguminosas permite mejorar el potencial forrajero del sistema, a la vez que aporta y moviliza nutrientes en el suelo potencialmente utilizables por el arbolado. Potenciar la presencia de leguminosas en los pastos puede así permitir reducir la utilización de fertilizantes. La implantación de praderas de leguminosas conlleva otros beneficios: mejora

del contenido de materia orgánica y de las características físicas y biológicas del suelo, incremento de la actividad de los microorganismos del suelo e incremento de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo (McCARTNEY & FRASER, 2010). GABRIEL & QUEMADA (2010) han observado respuestas a la aplicación de abonos verdes hasta dos años después de su aplicación en cultivos de maíz. De nuevo, no obstante la competencia que pueden ejercer las leguminosas con el arbolado por el agua del suelo podría incidir negativamente en el estado y crecimiento del arbolado. Las especies empleadas deben de cumplir otras características, como facilidad de implantación, manejo e incorporación al suelo, rápido crecimiento inicial, bajo nivel de ataque de plagas y enfermedades, sistema radicular profundo y bien desarrollado, tolerancia a condiciones climáticas como sequía y helada, a la baja fertilidad y no comportarse como planta invasora.

La pérdida de agua y nutrientes por debajo de la zona radicular es casi inevitable con los sistemas actuales de riego y fertilización, debido a su baja eficiencia y a la falta de uniformidad en la aplicación (PANG et al., 1997). Esta es una de las causas de que exista sobrefertilización en muchos cultivos. Así, en España se han medido pérdidas superiores a 100 kg N ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en cultivos de regadío (CAUSAPÉ et al., 2002). El problema de la lixiviación de nitratos no es sólo económico (pérdida de fertilizante) sino también ambiental, por la acumulación de nitratos en el subsuelo que, por lixiviación, pueden incorporarse a las aguas subterráneas o bien ser arrastrados hacia los cauces y reservorios superficiales. La lixiviación de nitratos constituye, por tanto, un riesgo ambiental que la agricultura debe superar. Las pérdidas de nitratos dependerán del tipo y dosis de fertilizante; del tipo de suelos, ya que las pérdidas son mucho más elevadas en suelos arenosos; del tipo de cultivo, rotación y del periodo del año (SOGBEDJI et al., 2000). Por otra parte, el Ministerio de Presidencia publicó, en el BOE de 11 de marzo de 1996, el Real Decreto 261/1996 de 16 de Febrero, para incorporar la Directiva del Consejo 91/676/CEE sobre la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura. Los Códigos de Buenas Prácticas Agrícolas están basados principalmente en un buen manejo del agua de riego, para evitar pérdidas por escorrentía y lixiviación, y en una correcta aplicación de los fertilizantes nitrogenados. Este conjunto de normativas nos da una idea precisa del problema que constituyen los nitratos en los medios agrícolas. Según diversos autores, estas pérdidas podrían reducirse considerablemente con la introducción de arbolado en las parcelas agrícolas (silvoagricultura) o de pastos (silvopascicultura), que se manifiesta como un mecanismo de control de la lixiviación de elementos nutritivos, en tanto que buena parte de los nutrientes que podrían perderse por lixiviación del alcance de las raíces de las herbáceas son utilizados eficientemente por los árboles, de raíces más profundas (MORENO et al., 2005), contribuyendo a su desarrollo y al control de la contaminación de acuíferos y cauces de agua (DEFAUW et al., 2005). De este modo, se disminuiría la contaminación de acuíferos y ríos, por reducción de lixiviación de nitratos y otros contaminantes. Sin embargo, la mayoría de los ensayos realizados han sido llevados a cabo en condiciones de clima tropical y actualmente existe poca información sobre los sistemas silvopastorales de clima templado al respecto (NAIR & GRAETZ, 2004). Nuestros resultados preliminares desarrollados en un ensayo en condiciones de invernadero, con cerezo y pradera mixta, mostraron la alta eficiencia de la combinación de ambos (sistema silvopastoral) en el control de la lixiviación del nitrato (LÓPEZ-DÍAZ et al., 2011).

## 2. Objetivos

El objetivo de este proyecto es estudiar la respuesta del nogal en cuanto a crecimiento y funcionamiento en cultivos intensivos (i) con distintas técnicas de control del estrato

herbáceo, química y mecánica (desbroce y laboreo), y pastoreo (manejo silvopastoral), y (ii) comparando la fertilización mineral (en N y P) con la implantación de leguminosas. A su vez se valoran sus implicaciones ambientales mediante la evaluación del control del lixiviado de nitratos.

### 3. Metodología

Se realizaron dos ensayos: el primero con distintos métodos de control de la vegetación herbácea y el segundo basado en la fertilización, en ambos casos combinados con distintas dosis de riego. Los tratamientos de control de la vegetación bajo el arbolado han sido:

LB: labrado en calles y aplicación de herbicidas (Glifosato) en las líneas de plantación a principios y mediados de primavera.

DB: desbroce mecánico con motodesbrozadora en calles. En este caso, se mantuvieron intactas las líneas de árboles.

SP: introducción de ganado. Se introdujeron 2 ovejas  $\text{ha}^{-1}$  en primavera hasta que consumieron el pasto.

Toda la superficie de ensayo se sometió a un régimen de fertirrigación, con la dosis de riego correspondiente, y la dosis de fertilización característica de la explotación. El ensayo de fertilización consistió en la aplicación de los siguientes tratamientos:

NF: no fertilización. Se utilizó como tratamiento control.

MIN: Fertilización mineral. Consistió en la aplicación habitual de la explotación, con 50  $\text{kg N ha}^{-1}$ , 40  $\text{kg de P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$  y 70  $\text{kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ , incorporado al riego por goteo (fertirrigación).

LEG: Pradera de leguminosa con fertilización fosfórica y potásica. En otoño del primer año del ensayo, se implantó una cubierta de pratenses (mezcla de leguminosas desarrolladas para suelos ácidos en clima mediterráneo: *Ornithopus compressus* ( $15 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y *Trifolium subterraneum* variedades Napir ( $7,5 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y Dalkeith ( $7,5 \text{ kg ha}^{-1}$ ) en las calles entre filas de árboles. A los árboles se les suministró 40  $\text{kg de P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$  y 70  $\text{kg K}_2\text{O ha}^{-1}$  incorporado al riego por goteo (fertirrigación).

Los niveles de riego ensayados fueron:

R1: Mantenimiento permanente del suelo a capacidad de campo en cada tratamiento (dosis de riego diferenciada por tratamiento), con objeto de obviar cualquier efecto negativo de la competencia de la vegetación herbácea en la disponibilidad de agua edáfica.

R2: Aplicación de dosis de riego uniforme al conjunto de tratamientos de la vegetación herbácea, tomando como referencia la situación de capacidad de campo en el tratamiento de pastoreo.

R3: Aplicación de dosis de riego uniforme al conjunto de tratamientos de la vegetación herbácea, tomando como referencia la situación de capacidad de campo en el tratamiento de herbicidas.

Se utilizó un diseño de bloques al azar con tres réplicas. En total, en cada uno de los ensayos se estudiaron nueve tratamientos (3 manejos de vegetación o fertilización x 3 dosis de riego), lo que supuso en cada caso 54 parcelas. Cada una de estas parcelas englobaba dos filas de 20 árboles con sus calles correspondientes a los lados. Las parcelas estaban separadas por una fila de árboles para evitar el efecto borde. Estos ensayos se han desarrollado en plantaciones de nogal híbrido (*Juglans major x nigra* mj 209xa) de entre 8 y 13 años, localizadas en Extremadura y Castilla-la Mancha, propiedad de la empresa “Bosques Naturales” (<http://bosquesnaturales.com/>). Los marcos de plantación de cada una de estas especies son 5 x 5 m y 5 x 6 m, respectivamente.

En cada una de las parcelas, los parámetros que se han analizado han sido el incremento del diámetro del arbolado, la producción de pasto (sólo en el ensayo de fertilización), la lixiviación de nitratos y el nivel de asimilación de  $\text{CO}_2$  por parte de las hojas del arbolado.

Para el cálculo de la producción de pasto en el ensayo de fertilización, se realizó un muestreo en primavera. Se tomarán cuatro muestras de pasto al azar en cada una de las parcelas, de 0,25 m<sup>2</sup>, empleando cizallas manuales. A continuación, todas las muestras transportaron a laboratorio, donde se secaron en una estufa a 80°C hasta conseguir un peso constante. Con posterioridad, se procedió al pesaje de todas las muestras, con el fin de determinar la productividad. En los 40 árboles centrales de cada parcela, se midió el diámetro normal del tronco. Para ello se empleó una forcípula de brazo móvil con precisión milimétrica. Para el estudio de la lixiviación de nitratos el 21 de noviembre se recogieron muestras del agua del suelo en lisímetros de succión a tres profundidades: 30, 60 y 90 cm. La recogida de muestras dependió de la climatología, ya que antes no se habían producido precipitaciones lo suficientemente importantes como para permitir la recogida de agua en profundidad.

#### 4. Resultados

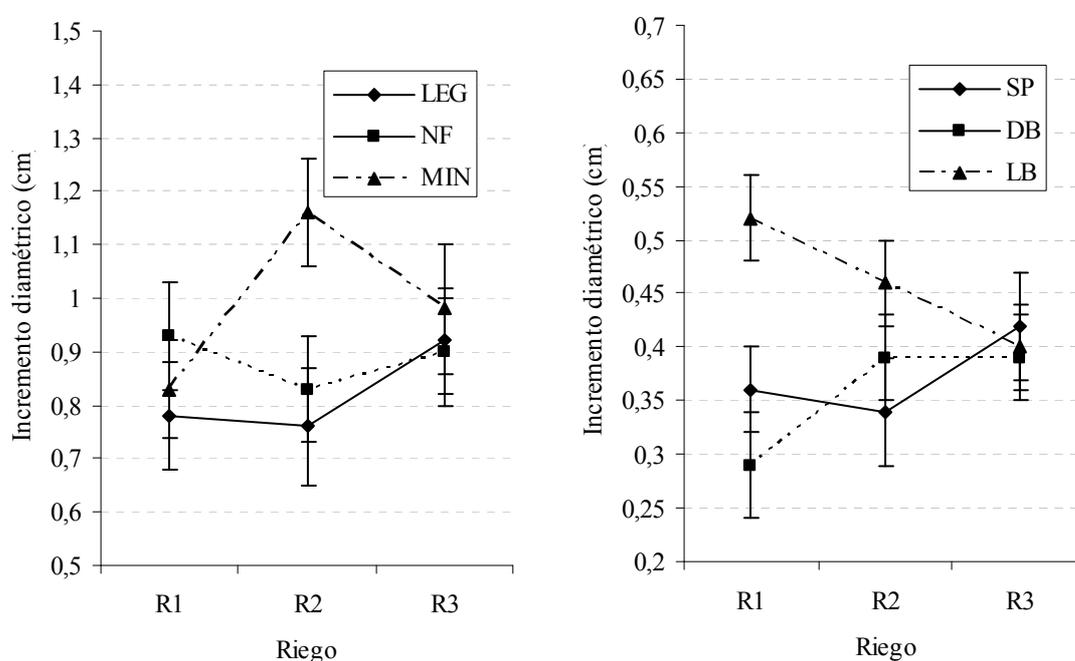


Figura 1. Incremento diamétrico (cm) respecto a los diversos tratamientos de fertilización (a) y control de la vegetación (b) ensayados. Tratamientos de fertilización: NF: control; MIN: fertilización mineral. LEG: siembra de leguminosas. Tratamientos de control de la vegetación: LB: laboreo; DB: desbroce; SP: pastoreo

En la Figura 1 se puede observar el incremento diamétrico (cm) del arbolado durante el primer año de aplicación de los diferentes tratamientos de fertilización y control de la vegetación combinados con distintas dosis de riego. En ambos ensayos no se observaron diferencias significativas, si bien cabe destacar una cierta mejora ( $p=0,11$ ) en el crecimiento de los árboles a los que se les aplicó la fertilización mineral (MIN) acompañada de dosis medias (R2:  $1,16 \pm 0,09$  cm) o altas (R3:  $0,98 \pm 0,12$  cm) de riego. En cuanto al control de la vegetación, los mayores valores se obtuvieron donde se laboreó (0,52-0,40 cm). En los otros dos tratamientos ensayados (desbroce y pastoreo), el incremento de las dosis de riego (R3 en zonas de pastoreo y R2 y R3 en zonas desbrozadas), permitió mejorar el diámetro de los árboles, aunque de momento también se trataba de una tendencia ( $p=0,09$ ).

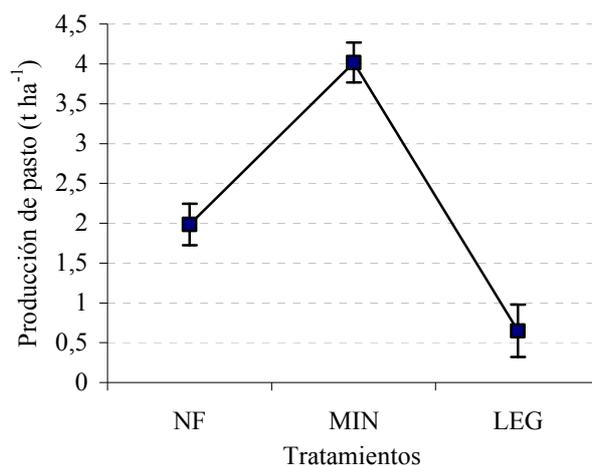


Figura 2. Producción de pasto ( $t\ ha^{-1}$ ) en el año 2012 según los diversos tratamientos de fertilización ensayados. Letras distintas indican tratamientos significativamente diferentes. NF: control; MIN: fertilización mineral. LEG: siembra de leguminosas. Se indica el valor medio  $\pm$  el Error estándar.

En la Figura 2 se muestra la producción de pasto obtenida en el año 2012 en los distintos tratamientos de fertilización. Los resultados obtenidos con los tres tratamientos ensayados fueron estadísticamente diferentes entre ellos ( $p=0,0001$ ). Los mejores resultados se observaron en el tratamiento de fertilización mineral (MIN:  $4,01\pm 0,25$ ) seguido del no fertilizado (NF:  $1,98\pm 0,26$ ). La siembra de leguminosas dio lugar a los valores más bajos de producción ( $0,65\pm 0,33$ ).

Nivel de asimilación de $CO_2$			
$\mu mol\ CO_2\ m^{-2}$			
	R1	R2	R3
NF	$7,0\pm 1,0$ abca b	$7,3\pm 1,1$	$6,6\pm 0,8$ abc
MIN	$5,2\pm 0,9$ bc	$7,6\pm 1,0$ a	$5,3\pm 0,9$ bc
LEG	$5,8\pm 0,8$ abc	$6,5\pm 0,8$ abc	$6,3\pm 0,7$ abc
LB	$5,6\pm 0,6$ ab	$6,3\pm 0,8$ ab	$5,3\pm 0,7$ ab
DB	$5,9\pm 0,8$ ab	$6,4\pm 1,0$ ab	$6,7\pm 1,0$ ab
SP	$5,1\pm 0,7$ b	$5,7\pm 0,8$ ab	$7,1\pm 1,1$ a
	Manejo	Riego	Manejo x Riego
p-values	0,353	0,089	0,193

Tabla 1. Nivel de asimilación de  $CO_2$  ( $\mu mol\ CO_2\ m^{-2}$ ) respecto a los diversos tratamientos de fertilización y control de la vegetación combinados con tres dosis de riego. Tratamientos de fertilización: NF: control; MIN: fertilización mineral. LEG: siembra de leguminosas. Tratamientos de control de la vegetación: LB: laboreo; DB: desbroce; SP: pastoreo. R1: dosis baja de riego; R2: dosis media de riego; R3: dosis alta de riego. Se indica el valor medio  $\pm$  el Error estándar.

En la Tabla 1 se refleja el nivel de asimilación de  $CO_2$  ( $\mu mol\ CO_2\ m^{-2}$ ) respecto a los diversos tratamientos de fertilización y control de la vegetación combinados con tres dosis de riego. Si consideramos los dos ensayos, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos si bien, en general, la asimilación de  $CO_2$  se redujo con la dosis baja de riego (R1), obteniendo los menores valores cuando se combinaba esta dosis con el pastoreo

( $5,1 \pm 0,7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}$ ). Sin embargo, este valor se incrementó considerablemente con la dosis más alta de riego (R3:  $7,1 \pm 1,1 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}$ ).

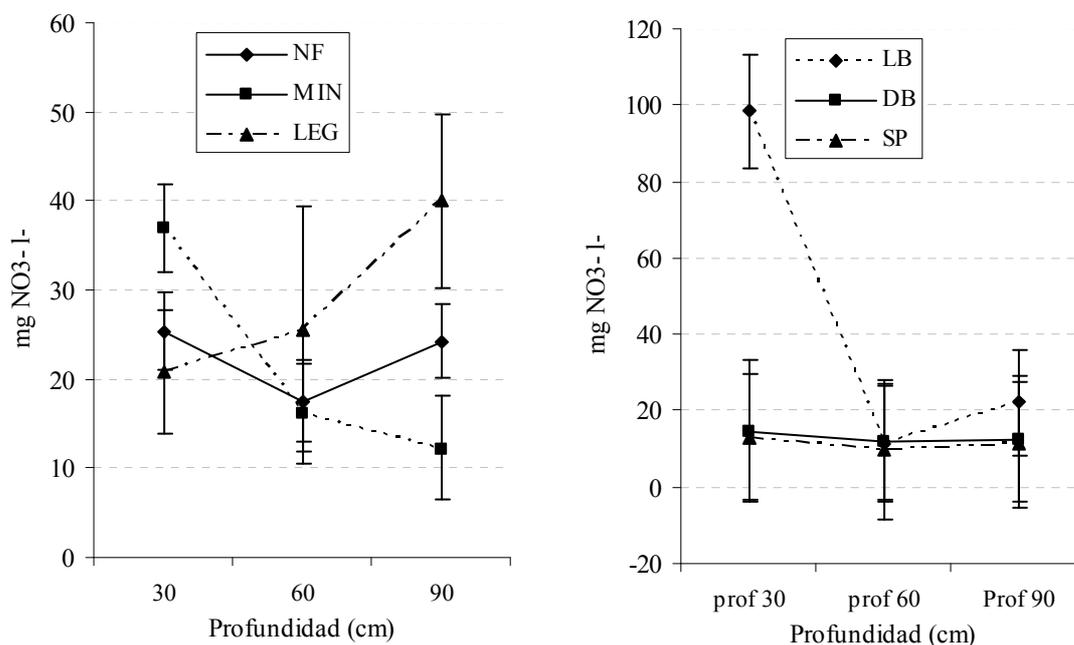


Figura 3. Concentración de nitrato en agua de lixiviación ( $\text{mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$ ) respecto a los diversos tratamientos de fertilización (izquierda) y control de la vegetación (derecha) ensayados. Tratamientos de fertilización: NF: control; MIN: fertilización mineral. LEG: siembra de leguminosas. Tratamientos de control de la vegetación: LB: laboreo; DB: desbroce; SP: pastoreo. Se indica el valor medio  $\pm$  Error estándar.

La concentración de nitrato ( $\text{mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$ ) presente en agua de escorrentía en los distintos tratamientos de fertilización y control de la vegetación se muestra en las Figuras 3a y 3b. Los valores máximos de lavado de nitratos se detectaron en profundidad donde se sembraron leguminosas (0-30 cm) ( $40,05 \pm 9,72 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$ ) y en las muestras más superficiales en el tratamiento mineral (MIN) ( $40,05 \pm 9,72 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$ ), si bien en este segundo caso se observó que la concentración se reducía drásticamente a medida que se descendía en profundidad. En cambio, los valores de nitrato en agua de infiltración en el tratamiento control (NF) se mantuvieron estables en todo el perfil ( $17,55$ - $25,41 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$ ).

## 5. Discusión

Los mayores crecimientos del arbolado se obtuvieron con la aplicación de fertilizantes minerales acompañada de riegos medio o alto, a pesar de que es con este tratamiento con el que también se han observado las mayores producciones de pasto, como era previsible. En el caso de las leguminosas, la producción de pasto ha sido muy baja ya que, debido a la fecha de iniciación del proyecto, se ha realizado la siembra en esa misma primavera, con lo que todavía en la fecha de recolección el desarrollo de las plantas era escaso, si bien en años posteriores sería necesario seguir viendo la evolución de este tratamiento. En el ensayo de control de la vegetación se puede observar como los mayores crecimientos se obtuvieron donde se realizó el laboreo, lo que parece indicar que el estrato herbáceo sí competía con el arbolado, aunque este efecto se anulaba al incrementar las dosis de riego, es decir, cuando la disponibilidad de agua era la adecuada. La reducción en el crecimiento del arbolado obtenida con el desbroce y el pastoreo podrían deberse en parte a que se han llevado a cabo con la estación de primavera bastante avanzada, lo que incrementó la competencia por el agua entre el estrato herbáceo y

arbóreo. Estos resultados coinciden con los obtenidos al estudiar el funcionamiento de las hojas, en los que también se puede observar como el nivel de asimilación de CO<sub>2</sub> se ve reducido con la limitación en el riego.

Se podría llegar a pensar que, al ser una plantación forestal de una cierta edad (entre 8 y 13 años), podría no ser necesario nada más que un ligero control del estrato inferior de vegetación como medida contra incendios. En cambio, si analizamos los dos ensayos conjuntamente podemos concluir que, en este tipo de explotación cuya finalidad principal es la obtención de madera de manera intensiva, el estrato herbáceo compite todavía con el arbolado en recursos tanto a nivel de nutrientes como de agua, por lo que se justifica totalmente la aplicación de fertilizantes y riego. No obstante, sería necesario hacer una valoración económica de si el incremento de producto obtenido justificaría el gasto que conllevan así como las implicaciones medioambientales.

En general, los valores de nitrato en agua lixiviada (9,77-40,05 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> l<sup>-1</sup>) se encontraban por debajo de la normativa de la Unión Europea (1991), que limita a 50 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> l<sup>-1</sup> la presencia de nitratos en agua potable. LÓPEZ-DÍAZ et al. (2011), en un ensayo realizado en laboratorio en el que se comparaba el lavado de nitratos bajo cuatro sistemas distintos de vegetación (suelo desnudo, pasto, arbolado y sistema agroforestal) observaron que en el sistema agroforestal establecido se reducía considerablemente el lavado del nitrato respecto a las otras opciones, al igual que obtuvieron VAN DER SALM et al. (2006), gracias principalmente a la presencia del arbolado, que es capaz de aprovechar el nitrógeno tanto a nivel superficial, donde además también se desarrollan las raíces de las herbáceas, como en profundidad (MORENO et al., 2005).

En nuestro caso, tan sólo se ha observado una excepción en el caso del laboreo en muestras tomadas hasta 30 cm de profundidad, en el que el valor detectado (98,39 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> l<sup>-1</sup>) casi duplica el límite establecido por la Unión europea. El incremento en la lixiviación de nitrógeno podría ser consecuencia de la activación en la tasa de mineralización que se produce al realizar el laboreo como consecuencia de la aireación del suelo (WHITEHEAD, 1995). También se observó un incremento en el tratamiento de implantación de leguminosas (LEG). Según WHITEHEAD (1995), las leguminosas son capaces de fijar nitrógeno atmosférico, gracias a la simbiosis que realizan con bacterias del género *Rhizobium*. En algunos casos, pueden fijar entre 0 500 kg N ha<sup>-1</sup>. En este ensayo, la siembra no alcanzó un buen desarrollo como consecuencia de su siembra tardía (en primavera), por lo que el incremento en el nitrato en agua seguramente fue debida también al laboreo que se realizó en invierno, antes de la siembra. En el caso del tratamiento laboreo (LB), este incremento sólo se observó en esos primeros centímetros de suelo, al igual que obtuvieron LÓPEZ-DÍAZ et al. (2011). En el caso de las leguminosas, la concentración de nitrato se incrementaba a medida que se descendía en la pendiente. La diferencia entre ambos puede ser debida a que el tratamiento laboreo se aplicó mucho después (en la primavera). Posteriormente a estas fechas no hubo precipitaciones importantes que pudieran lavar el nitrato hacia horizontes más profundos, aunque es esperable que este trasvase se detecte a corto-medio plazo, dependiendo de la meteorología. También se han observado valores superiores al resto de los tratamientos en los primeros centímetros del suelo en donde se había aplicado el fertilizante inorgánico, como consecuencia del aporte de nitrógeno mineral que se produce con este tratamiento, si bien tan sólo se detectó a nivel superficial (0-30 cm).

Por último, es importante señalar que las zonas en las que se introdujeron animales (SP) no se detectaron incrementos en el lavado nitrógeno, ya que se trata de aportes en su mayor parte orgánicos y por tanto, disponibles a más largo plazo (KRAMER et al., 2006).

## 6. Conclusiones

La fertilización inorgánica junto con riego mejoraron la producción del arbolado, así como el control de la vegetación mediante el laboreo, si bien con este último tratamiento así como con la aplicación de mineral se incrementó la lixiviación de nitrato, lo que puede tener consecuencias medioambientales negativas. En cuanto a la introducción de ganado, será necesario realizar un estudio a más largo plazo para confirmar si afecta al crecimiento del arbolado.

## 7. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Plan Nacional I+D+I del Ministerio de Ciencia e Innovación (AGL2011-25456).

## 8. Bibliografía

BABCOCK, B.A.; FRASER, R.W.; LEKAKIS, J.N.; 2003. Risk Management and the Environment: Agriculture in Perspective. Agricultural Economic Series. Kluwer Academic Publisher. 220 pp

BOE del 11/03/1996. Real Decreto 261/1996 del 16 de febrero, sobre la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura

CAUSAPÉ, J.; ISIDORO, D.; QUÍLEZ, D.; ARAGÜÉS, R.; 2002. Water and nitrogen management in the irrigation district nº V of Bardenas (Zaragoza, Spain) and environmental impact on water resources. p. 69–70. En: Villalobos, F.J.; Testi, L. (eds.); Proc. VII Congr. European Soc. for Agron., Córdoba, Spain. 15–18 July 2002. Junta de Andalucía, Sevilla

DEFAUW, S.L.; SAUER, T.J.; KRISTOFOR, R.B.; SAVIN, M.C.; HAYS, P.D.; BRAHANA, J.; 2005. Nitrate-n distributions and denitrification potential estimates for an agroforestry site in the ozark highlands, USA. AFTA 2005 Conference Proceedings. 13 pp

DIRECTIVA DEL CONSEJO 91/676/CEE; 1991. sobre la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura. Los Códigos de Buenas Prácticas Agrícolas

FAO; 1997 Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos

GABRIEL, J.; QUEMADA, M.; 2010. Replacing bare fallow with cover crops in a maize cropping system: Yield, N uptake and fertiliser fate. at <http://www.scopus.com/inward/record.url?>

KRAMER, S.B.; REGANOL, J.D.; GLOVER, J.D.; BOHANNAN, B.J.M.; MOONEY, H.A.; 2006. Reduced nitrate leaching and enhanced denitrifier activity and efficiency in organically fertilized soils. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 103 4522-4527

LÓPEZ-DÍAZ, M.L.; ROLO, V.; MORENO, G.; 2011. Tree's Role in Nitrogen leaching after organic, mineral fertilization : a greenhouse experiment. *Journal of Environmental Quality* 40 1-7

MARINARI, S.; LAGOMARSINO, A.; MOSCATELLI, M.; DI TIZIO, A.; CAMPIGLIA, E.; 2010. Soil carbon and nitrogen mineralization kinetics in organic and conventional three-year cropping systems. *Soil and Tillage Research* 109: 161-168

MCADAM, J.; 2005. Silvopastoral systems in North-west Europe. En: Mosquera-Losada, M.R.; McAdam, J.; Rigueiro-Rodríguez, A. (eds.); *Silvopastoralism and Sustainable Land Management*. CABI, Wallingford. UK

MCADAM, J; SIBBALD, A.R.; 2000. Grazing livestock management. Forestry Commission Bulletin 122 44-57

MCCARTNEY, D.; FRASER, J.; 2010. The potential role of annual forage legumes in Canada: A review. *Canadian Journal of Plant Science* 90 403-420

MONTERO, G.; CISNEROS, O.; CAÑELLAS, I.; 2003. Manual de selvicultura para plantaciones de especies productoras de madera de calidad. Mundi Prensa, Madrid. 284 pp

MORENO, G.; OBRADOR, J.J.; CUBERA, E.; DUPRAZ, C.; 2005 Fine root distribution in Dehesas of Central-Western Spain. *Plant and Soil* 277 153–162

NAIR, V.D.; GRAETZ, D.A.; 2004. Agroforestry as an approach to minimizing nutrient loss from heavily fertilized soils: The Florida experience. *Agroforestry systems* 61 269-279

PANG, X.P.; LETEY, J.; WU, L.; 1997. Irrigation quantity and uniformity and nitrogen application effects on crop yield and nitrogen leaching. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61 257–261

RIGUEIRO-RODRÍGUEZ A, FERNÁNDEZ-NÚÑEZ E, GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ P, MCADAM J; MOSQUERA-LOSADA MR. 2009. Agroforestry Systems in Europe: Productive, Ecological and Social Perspectives. En: Rigueiro-Rodríguez A, McAdam J y Mosquera-Losada MR (eds.). *Agroforestry in Europe. Advances in Agroforestry* 6 43-65. Springer

SOGBEDJI, J.M.; VAN ES, H.M.; YANG, C.L.; GEOHRING, L.D.; MAGDOFF, F.R.; 2000. Nitrate leaching and nitrogen budget as affected by maize nitrogen rate and soil type. *J. Environ. Qual.* 29 1813–1820

STOATE, C.; BOATMAN, N.D.; BORRALHO, R.J.; RIO CARVALHO, C.; DE SNOO, G.R.; EDEN, P.; 2001. Ecological impacts of arable intensification in Europe. *Journal of Environmental Management* 63 337–365

UNIÓN EUROPEA; 1991. Official journal of the European Unión nº L 135 of 30 May 1991. Council Directive 91/271/CEE of 21 May 1991 concerning urban waste water treatment

VAN NOORDWIJK, M.; LAWSON, G.; SOUMARE, A.; GROOT, J.J.R.; HAIRIAH, A.; 1996. Root distribution of trees and crops: competition and/or complementarity. En: Ong, C.K.; Huxley, P. (eds.). *Tree-crop interactions: A Physiological approach*: 319-364. CAB International, Wallingford

WHITEHEAD, DC.; 1995. Grassland nitrogen. CAB International