



Vicerrectorado de Internacionalización  
y Postgrado  
Universidad de Oviedo



## Máster en Biotecnología Aplicada a la Conservación y Gestión Sostenible de Recursos Vegetales

### TRABAJO FIN DE MÁSTER

### GESTIÓN DE PLANTACIONES ENERGÉTICAS DE PRIMERA Y SEGUNDA ROTACIÓN EN ESCOMBRERAS DE ORIGEN MINERO



Alicia María Fernández Braña  
22 de Julio de 2014

Máster en Biotecnología Aplicada a la Conservación y  
Gestión Sostenible de Recursos Vegetales

TRABAJO FIN DE MÁSTER

GESTIÓN DE PLANTACIONES ENERGÉTICAS DE PRIMERA Y  
SEGUNDA ROTACIÓN EN ESCOMBRERAS DE ORIGEN  
MINERO

Alicia María Fernández Braña



Elías Afif Khouri



Tomás Emilio Díaz González



## Resumen

Los cultivos bioenergéticos han supuesto un cambio de enfoque del rendimiento y las cuestiones relacionadas con la calidad, hacia formas más sostenibles de la producción de energía. Esto implica una menor contaminación y un mayor aprovechamiento de los recursos naturales, utilizando una menor cantidad de productos químicos. Los cultivos energéticos de rotación corta (SRC) permiten la producción de biomasa sobre suelos degradados como las escombreras mineras. En el presente estudio se pretende evaluar la aplicación de tres tratamientos de fertilización ( $0 \text{ t ha}^{-1}$ ,  $17,5 \text{ t ha}^{-1}$  y  $25 \text{ t ha}^{-1}$ ) en una antigua escombrera de una explotación minera a cielo abierto situada en Mozquita Norte (Langreo). La fertilización se llevó a cabo con Compost EDAR obtenido a partir de los lodos de las estaciones asturianas de depuración de aguas residuales y restos vegetales. Para ello se ha relacionado su aplicación con los efectos causados en los parámetros edáficos, el estado nutricional del clon Olof 1150 (*Salix viminalis* L. x (*Salix viminalis* L. x *Salix schwerini* E. Wolf.) y su crecimiento, tras el primer año de rebrote determinando el volumen final de madera aprovechable para la producción de biomasa.

## Abstract

Bioenergy crops have caused a change in approach to performance and quality issues, towards more sustainable forms of energy production. This means less pollution and better use of natural resources, using fewer chemicals. The short rotation energy crops (SRC) allow biomass production on degraded soils mining tailings. The present study aims to assess the application of three fertilizer treatments ( $0 \text{ t ha}^{-1}$ ,  $17.5 \text{ t ha}^{-1}$  and  $25 \text{ t ha}^{-1}$ ) in an old dump of opencast mining located in Mozquita North (Langreo). Fertilization was carried out with Compost EDAR obtained from sludge Asturian stations and sewage treatment and plant remains. This application has been associated with the effects on soil parameters, nutritional status of clone Olof 1150 (*Salix viminalis* L. x (*Salix viminalis* L. x *Salix schwerini* E. Wolf.) and growth after the first year of regrowth determining the final volume of exploitable wood for the production of biomass.

<b>ÍNDICE</b>	<b>Pág.</b>
<b>1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1. <i>Antecedentes.....</i>	6
1.2. <i>Planteamiento y objetivos.....</i>	7
<b>2. Material y métodos.....</b>	<b>8</b>
<b>3. Resultados.....</b>	<b>11</b>
3.1. <i>Parámetros edáficos .....</i>	11
3.2. <i>Parámetros foliares y de crecimiento.....</i>	12
3.3. <i>Parámetros edáficos en función del tratamiento de fertilización.....</i>	12
3.4. <i>Parámetros foliares en función del tratamiento de fertilización.....</i>	13
3.5. <i>Valores de crecimiento en función del nivel de fertilización.....</i>	13
3.6. <i>Influencia del incremento de los parámetros edáficos en el crecimiento.....</i>	14
<b>4. Discusión.....</b>	<b>15</b>
<b>5. Conclusiones.....</b>	<b>22</b>
<b>6. Bibliografía.....</b>	<b>22</b>

## INDICE DE TABLAS

Pág.

<b>Tabla 1.</b> Composición en metales pesados y patógenos del compost EDAR	5
<b>Tabla 2.</b> Tratamientos anteriores de fertilización y aplicación de herbicidas	7
<b>Tabla 3.</b> Tratamientos de fertilización	7
<b>Tabla 4.</b> Composición del compost EDAR (COGERSA)	8
<b>Tabla 5.</b> Parámetros edáficos antes de la fertilización	11
<b>Tabla 6.</b> Parámetros edáficos después de la fertilización	11
<b>Tabla 7.</b> Parámetros foliares después de la fertilización	12
<b>Tabla 8.</b> Parámetros de crecimiento después de la fertilización	12
<b>Tabla 9.</b> Parámetros edáficos en función del tratamiento de fertilización	12
<b>Tabla 10.</b> Parámetros foliares en función del tratamiento de fertilización	13
<b>Tabla 11.</b> Parámetros de crecimiento en función del tratamiento de fertilización	14
<b>Tabla 12.</b> Correlaciones Pearson y covarianza entre el incremento de los parámetros edáficos y de crecimiento	14
<b>Tabla 13.</b> Resultados dasométricos de <i>S. viminalis</i> obtenidos tras una rotación	21

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Primer rebrote en una plantación joven	1
<b>Figura 2.</b> Rebrote en una plantación madura	1
<b>Figura 3.</b> Clon Olof 1150	3
<b>Figura 4.</b> Pila de compost EDAR	4
<b>Figura 5.</b> Recogida de muestras de suelo	9
<b>Figura 6.</b> Almacenaje de las muestras de suelo	9
<b>Figura 7.</b> Almacenaje de muestras foliares	10
<b>Figura 8.</b> Descriptivos pH antes de la fertilización	15
<b>Figura 9.</b> Descriptivos pH después de la fertilización	15
<b>Figura 10.</b> Descriptivos CE antes de la fertilización	15
<b>Figura 11.</b> Descriptivos CE después de la fertilización	15
<b>Figura 12.</b> Descriptivos MO antes de la fertilización	16
<b>Figura 13.</b> Descriptivos MO después de la fertilización	16
<b>Figura 14.</b> Descriptivos N antes de la fertilización	17
<b>Figura 15.</b> Descriptivos N después de la fertilización	17
<b>Figura 16.</b> Descriptivos C/N antes de la fertilización	17

<b>Figura 17.</b> Descriptivos C/N después de la fertilización	17
<b>Figura 18.</b> Descriptivos P antes de la fertilización	18
<b>Figura 19.</b> Descriptivos P después de la fertilización	18
<b>Figura 20.</b> Descriptivos CICE antes de la fertilización	18
<b>Figura 21.</b> Descriptivos CICE después de la fertilización	18
<b>Figura 22.</b> Descriptivos N foliar	19
<b>Figura 23.</b> Descriptivos P foliar	19
<b>Figura 24.</b> Descriptivos Ca foliar	19
<b>Figura 25.</b> Descriptivos K foliar	19
<b>Figura 26.</b> Descriptivos Fe foliar	20
<b>Figura 27.</b> Descriptivos Mg foliar	20
<b>Figura 28.</b> Descriptivos N° brotes/cepa	20
<b>Figura 29.</b> Descriptivos altura brotes	20
<b>Figura 30.</b> Descriptivos diámetro a 0,25 cm	20
<b>Figura 31.</b> Descriptivos volumen	20

## 1. Introducción

El concepto de Desarrollo Sostenible, definido como “la satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”, pone de relieve la importancia de disponer de fuentes de energía menos contaminantes y más eficientes (Demirbas, 2001). La biomasa juega un papel importante en estas lides, ya que contribuye significativamente a la estrategia de reducción del dióxido de carbono atmosférico, exigida por el Protocolo de Kyoto (Gasol et al., 2009), siendo además, una fuente de energía relativamente abundante en el mundo (Pérez et al., 2011).

La silvicultura de rotación corta (SRC) es la práctica silvícola con arreglo a la cual las plantaciones sostenibles de alta densidad de especies arbóreas de crecimiento rápido producen biomasa leñosa en tierras agrícolas o en tierras forestales fértiles pero degradadas. (Hansen, 1991; Deraedt y Ceulemans, 1978; Christersson y Verna, 2006). Esta gestión está dirigida a la obtención de una salida máxima de biomasa (madera) con una entrada mínima (es decir, la fertilización, la preparación del terreno, etc) (Deraedt y Ceulemans, 1978; Ledin y Willebrand, 1996).

La gestión del cultivo como parte de un sistema de monte bajo, suele implicar el rebrote o la producción de vástagos, un método tradicional sostenible donde se favorece la aparición de vástagos en determinadas especies de árboles. En la figura 1 se muestra un ejemplo del primer rebrote del clon Olof 1150 (*Salix viminalis* L. x (*Salix viminalis* L. x *Salix schwerini* E. Wolf.) en una plantación joven (Mozquita Norte) y en la figura 2 un ejemplo de rebrote en una plantación madura de aliso (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) en East Dean, Hampshire (James, 2005):



**Figura 1.** Primer rebrote en una plantación joven



**Figura 2.** Rebrote en una plantación madura

Esta técnica se aplica en árboles jóvenes y consiste en cortarles el tronco a un nivel bajo o a ras del suelo (Blake, 1983) y se aplica con frecuencia al final del año de establecimiento para promover la germinación de muchos brotes por corte para

umentar la producción final de biomasa (Dickmann y Stuart, 1983; Macpherson, 1995). En los posteriores años de crecimiento se formarán nuevos vástagos y después de que hayan pasado unos años el ciclo comienza otra vez (se vuelven a cortar los troncos gruesos de los vástagos para que emerjan de los pies otros nuevos hasta que estén listos para ser cosechados otra vez). La longitud del ciclo depende del corte de la especie, de las costumbres locales, y del uso a que se destina el producto. La cosecha se realiza típicamente en secciones, en una rotación, de esta manera cada año una cosecha estará disponible. La técnica tiene como consecuencia la ventaja de proporcionar una rica variedad de hábitats, ya que el arbolado está provisto siempre de una diversa gama de pies envejecidos, lo cual es beneficioso para la biodiversidad del bosque (Rackham, 2001).

Los sistemas de monte bajo (SRC), son de interés por tres razones principales: como un uso alternativo de la tierra retirada de la producción agrícola (Ranney et al., 1987) e incluso de superficies pertenecientes a antiguas explotaciones mineras (Bungart y Hüttl, 2004); como materia prima para la energía y la industria (Hansen, 1991); y como un medio para secuestrar dióxido de carbono (Hall y House, 1994). A todo ello se suma su impacto positivo sobre la biodiversidad, la captura de nutrientes y la circulación del carbono en el sistema suelo-planta-atmósfera, especialmente en antiguas tierras marginales, protegiendo el suelo del agua y el viento, factores que generan erosión (Gordon, 1975; Perttu, 1995). Además, tras la comparación de las diversas opciones de producción de bioenergía, se concluye que la producción y uso de biomasa leñosa para fines de transformación de energía conlleva numerosos efectos beneficiosos, tales como la creación de empleo y otras consecuencias positivas como valor añadido a escala regional (Hall, 1997; Muschler y Bonnemann, 1997; Huettl et al, 2000; Volk et al, 2004).

Esta práctica debería permitir un aprovechamiento ecológica y económicamente óptimo de los recursos naturales mediante la aplicación de conocimientos biológicos y físicos tanto teóricos como prácticos. La madera procedente de la silvicultura de rotación corta puede sustituir a la extraída de bosques tropicales y de zonas forestales protegidas y contribuir de ese modo a la conservación de valiosos bosques naturales para las generaciones futuras (Christersson y Verna, 2006)

Son muchas las especies empleadas en cultivos energéticos. Por lo general, todas las especies que resultan rentables en una plantación de este tipo presentan unos rasgos comunes: rápido crecimiento, reproducción vegetativa sencilla, gran capacidad de rebrote, buena adaptación en variedad de suelos y elevada producción neta total con requerimientos mínimos. Son adecuadas por tanto, especies como los sauces (*Salix* sp.), (Facciotto, 2009) por su buen desarrollo en suelos pobres y su elevado poder calorífico (Vande Walle et al., 2007); La figura 3 muestra una imagen del clon Olof 1150 (*Salix viminalis* L. x (*Salix viminalis* L. x *Salix schwerini* E. Wolf.) utilizado en Mozquita Norte.



**Figura 3.** Clon Olof 1150 (*Salix viminalis* L. x (*Salix viminalis* L. x *Salix schwerini* E. Wolf.)

La ubicación de un cultivo SRC de sauce en un suelo degradado procedente de la actividad minera, implica el empleo de tratamientos de fertilización debido a las condiciones edáficas de este tipo de áreas marginales. Los lodos de depuradora (EDAR) son residuos urbanos procedentes de la depuración de aguas residuales, cuya materia orgánica puede ser objeto de empleo agrícola; contienen la totalidad de los nutrientes considerados esenciales para el desarrollo de las plantas, destacándose su elevada concentración de nitrógeno del orden del 3% (Delgado et al., 1999). La aplicación de lodos a los suelos agrícolas o degradados se presenta como la alternativa más conveniente para su disposición, ya que se aprovechan los recursos fertilizantes presentes en los mismos (Polo et al., 1997) y es una de las principales opciones adoptadas en la Unión Europea como sustituto de la fertilización mineral (Smith, 1996). La utilización racional de los abonos, especialmente los nitrogenados, se está convirtiendo en una necesidad apremiante en los países desarrollados, ya que el abuso de estos fertilizantes puede provocar enfermedades en el ganado (timpanismo) y se relaciona directamente con la problemática de la contaminación de las aguas (eutrofización) (Greenwood, 1990; Jarvis y Barraclough, 1991).

La utilización de abonos orgánicos procedentes de residuos, está en concordancia con los criterios de sostenibilidad y reciclado que la Unión Europea ha ido potenciando de forma importante a través de varias directivas (91/676/EC, 2078/92, 2080/92, 96/61/EC y 182/1999/EC). Más aún, la abundancia de estos materiales en los países europeos, sobre todo de lodos de depuradora urbana lo que hace aconsejable considerar su utilización en agricultura (Bontoux et al., 1998). A la previsión de un importante aumento de producción de lodos hay que añadir las limitaciones ya existentes (vertido de estos materiales al mar) o que se van a producir (transporte a vertederos) para su eliminación, sin olvidar la importante contaminación y el elevado coste de otras vías como su procesado mediante incineración (Mateu et al., 1999; Oms-Mollá, 1999). La utilización como abono o enmienda de los lodos de depuradora de aguas residuales ya

sea fresco o compostado, es un medio eficaz para resolver el problema de la ubicación definitiva de estos residuos (Miralles de Imperial et al., 2002; Mosquera-Losada et al., 2001). Todo ello explica la conveniencia de realizar estudios acerca del manejo que se puede dar a estos productos para su uso agrícola.

La aplicación de la Directiva 91/271/CEE sobre tratamiento de aguas residuales urbanas ha traído consigo un incremento progresivo de la producción de lodos de depuradora. Asturias produce actualmente unas 66.000 t/año de lodos que se gestionan de forma centralizada en COGERSA. Estos lodos son ricos en nutrientes como materia orgánica, nitrógeno y fósforo, y por ello la Directiva 86/278/CEE trata de fomentar y regular su utilización en la agricultura. En España, el Real Decreto 1310/1990 y la Orden AAA/1072/2013 regulan la utilización de los lodos en el sector agrario y establecen que solo podrán utilizarse para esta finalidad los lodos tratados por una vía biológica, química o térmica, mediante almacenamiento a largo plazo o por cualquier otro procedimiento apropiado, de manera que se reduzca de forma significativa su poder de fermentación y los inconvenientes sanitarios de su utilización.

El Real Decreto 506/2013 establece la normativa básica en materia de productos fertilizantes y considera la enmienda orgánica compost como un producto higienizado y estabilizado, obtenido mediante descomposición biológica aeróbica (incluyendo fase termofílica), bajo condiciones controladas como se observa en la figura 4, de materiales orgánicos biodegradables recogidos separadamente, entre los cuales incluye el compostaje de los lodos de depuradora. Por otro lado, los lodos de depuradora tienen la consideración de residuo en la legislación española, estando sujetos a la Ley 22/2011 de residuos y suelos contaminados que deriva de la Directiva 2008/98/CE.



**Figura 4.** Pila de compost EDAR cubierta por una lona semipermeable que evita la lluvia, salida de gases y emisión de olores.

Según el Plan nacional integrado de residuos (PNIR) 2008-2015, se generaron en 2006 un total de 1.064.972 t de lodos (expresadas como materia seca) de los que alrededor del 65% se destinaron a suelos agrícolas. El PNIR establece una serie de objetivos como por ejemplo evitar el transporte de los lodos a grandes distancias,

minimizar la cantidad de lodos destinados a vertedero e incrementar su aplicación agrícolas hasta el 67%.

Sin embargo, los sistemas de cultivo poco intensivos y extensivos, así como la compleja orografía de Asturias no son favorables para el reciclaje agrícola de lodos, que se encuentra por debajo de la media nacional. El Plan Estratégico de Residuos en Asturias 2014-2024 (PERPA) propone incrementar el porcentaje de lodos de EDAR valorizados, de forma que antes de final de 2020 se destinen a eliminación sólo aquellos que no sean susceptibles de valorización material o energética. Es estrictamente necesario desarrollar el mercado local del compost de lodos (compost EDAR) para converger con los objetivos recogidos en el PNIR y el PERPA sobre reciclaje de lodos y minimización de su transporte. Por otro lado, el incremento previsto en la producción de otras enmiendas a medida que la Ley 22/2011 de residuos surta efecto y se incrementen las tasas de recuperación de biorresiduos, debe impulsar aún más si cabe el desarrollo de aplicaciones innovadoras especialmente orientadas a las características del compost EDAR de COGERSA para minimizar la competencia de las distintas enmiendas en las aplicaciones “tradicionales”. En sintonía, la Línea de actuación 28 del PERPA sobre el fomento del I+D orientado a la prevención y mejora de la gestión de los residuos plantea una medida para fomentar el uso y comercialización de enmiendas y compost en cultivos energéticos y otros cultivos, con el fin de potenciar su demanda.

Los lodos presentan, sin embargo, algunos aspectos negativos en cuanto a su uso como abono, como son la presencia de sustancias tóxicas (metales pesados, compuestos orgánicos no biodegradables, alta concentración de sales, etc.) y de microorganismos patógenos que pueden influir negativamente tanto en los suelos como en los cultivos. El contenido en metales pesados representa la principal limitación para su uso en agricultura (Bidwell y Dowdy 1987; Brams y Anthony 1988; Walter et al., 1992; Delgado et al., 2000). En la tabla 1 se muestran los resultados facilitados por la empresa COGERSA de los análisis realizados para determinar el contenido en metales pesados y patógenos del compost EDAR. Como se aprecia todos cumplen la normativa.

**Tabla 1.** Composición en metales pesados y patógenos del compost EDAR.

Análisis	Resultado	Valor de referencia	Norma	Comentario
<b>Cadmio</b> (Absorción atómica)	<1 mg kg <sup>-1</sup>	≤ 3 mg kg <sup>-1</sup>	RD 824/2005	Cumple
<b>Cobre</b> (Absorción atómica)	278 mg kg <sup>-1</sup>	≤ 400 mg kg <sup>-1</sup>	RD 824/2005	Cumple
<b>Cromo</b> (Absorción atómica)	43 mg kg <sup>-1</sup>	≤ 300 mg kg <sup>-1</sup>	RD 824/2005	Cumple
<b>Cromo VI</b> (Espectrofotometría UV/VIS)	No detectado			
<b>Zinc</b> (Absorción atómica)	603 mg kg <sup>-1</sup>	≤ 1000 mg kg <sup>-1</sup>	RD 824/2005	Cumple
<b>Plomo</b> (Absorción atómica)	109 mg kg <sup>-1</sup>	≤ 200 mg kg <sup>-1</sup>	RD 824/2005	Cumple
<b>Níquel</b> (Absorción atómica)	43 mg kg <sup>-1</sup>	≤ 100 mg kg <sup>-1</sup>	RD 824/2005	Cumple
<b>Mercurio</b> (Absorción atómica)	<1 mg kg <sup>-1</sup>	≤ 2,5 mg kg <sup>-1</sup>	RD 824/2005	Cumple
<b>Salmonella</b>	No detectado			
<b>Escherichia coli</b>	No detectado			

La tradición minera de Asturias ha provocado la generación de extensas superficies ociosas con buenos accesos, aptas para una explotación forestal alternativa a la

minería (unas 728 ha con pendientes inferiores al 30%). Sin embargo estos suelos son deficitarios en nutrientes y el compost EDAR puede convertirse en un fertilizante ideal sustitutivo de los fertilizantes químicos tradicionales para desarrollar una biomasa con fines energéticos, aportando ventajas importantes en términos de economía, desarrollo local, aprovechamiento de recursos, reforestación de suelos, mitigación de cambio climático, reducción de la demanda energética, aprovechamiento de suelos ociosos y prevención de incendios, etc.

### *1.1. Antecedentes*

En Mayo de 2008 se instalaron una serie de cultivos energéticos de rotación corta (SRC) en la antigua escombrera Mozquita Norte (Concejo de Langreo). Los terrenos de Mozquita Norte ocupan una cabida de 108,00 ha y pertenecen en su totalidad a HUNOSA (Hulleras del Norte S.A.), una empresa pública de carácter estatal, que se dedica a la extracción minera y a su explotación en la zona central asturiana.

En 1976 se pone en marcha la primera explotación a cielo abierto de HUNOSA, una alternativa a los yacimientos subterráneos, en los que se aprovechan vetas situadas a gran profundidad.

Seis años más tarde entra en vigor el Real Decreto 2.994/1982, de Restauración de Espacios Naturales afectados por Actividades Extractivas, que obliga a los propietarios de explotaciones mineras a realizar trabajos de rehabilitación del territorio afectado por estas labores. Además, previa puesta en marcha de una nueva explotación, la empresa queda obligada a presentar un Plan de Restauración.

La explotación del mineral en Mozquita Norte dio comienzo en 1979, tras dos años de labores de investigación. Después del cese de la extracción de mineral, dio comienzo un Plan de Restauración que ya ha completado las fases de rehabilitación morfológica y de ejecución de las infraestructuras viarias e hidráulicas pertinentes. Una vez restaurada la finca, se instalaron 3 ensayos de cultivos energéticos. Cada uno de estos ensayos dispuso de una superficie de 2,5 ha donde se plantaron clones comerciales de sauce, chopo y abedul, para la producción de biomasa con fines energéticos.

Concretamente, en Mozquita Norte se utilizaron 3 clones de sauce distribuidos en 54 parcelas (18 parcelas por clon), Bjorn 950 (*Salix viminalis* L. x *Salix schwerini* E. Wolf.), Olof 1150 (*Salix viminalis* L. x (*Salix viminalis* L. x *Salix schwerini* E. Wolf.) e Inger 1150 (*Salix triandra* L. x *Salix viminalis* L.). Todos ellos fueron elegidos por su capacidad para adaptarse a las condiciones físicas propias de la escombrera (Castaño-Díaz, 2013) y lo que se pretendía era conocer la respuesta de los mismos en función de la calidad del suelo, tras un proceso de fertilización combinado con la aplicación de herbicida, donde se aplicaron 3 tratamientos diferentes (F0, F1 y F2) resumidos en la tabla 2:

**Tabla 2.** Tratamientos anteriores de fertilización y aplicación de herbicida

Nivel de tratamiento	Fertilización		Herbicida	
	Año 1 (2008)	Años restantes	Año 1 (2008)	Años restantes
<b>F0 (Control)</b>	No se aplica	No se aplica	No se aplica	No se aplica
<b>F1</b>	80 kg ha <sup>-1</sup> de NH <sub>4</sub>	300 kg ha <sup>-1</sup> de NPK 6:20:12	glifosato(4 l ha <sup>-1</sup> )	glifosato(4 l ha <sup>-1</sup> )
<b>F2</b>	160 kg ha <sup>-1</sup> de NH <sub>4</sub>	300 kg ha <sup>-1</sup> de NPK 6:20:12	glifosato(4 l ha <sup>-1</sup> )	glifosato(4 l ha <sup>-1</sup> )

Una vez transcurrido un periodo de rotación (4 años), se determinó que el clon más productivo era el Olof 1150 y los demás se descartaron.

### 1.2. Planteamiento y objetivos.

El principal objetivo del presente estudio es promover la gestión sostenible de los cultivos de rotación corta mediante la evaluación del crecimiento y producción potencial del clon Olof 1150 distribuido en 18 parcelas de ensayo, tras ser sometido a la técnica de vástagos (SRC) en su primer año de rebrote, como respuesta a la aplicación de tres tratamientos diferentes de fertilización y sin el uso de herbicidas. La fertilización se realizó con compost EDAR, proveniente de lodos de depuradora en niveles crecientes de concentración como refleja la tabla 3 con un total de 6 parcelas de estudio por tratamiento.

**Tabla 3.** Tratamientos de fertilización.

	F0 (parcelas control)	F1	F2
<b>Cantidad aplicada</b>	0 t ha <sup>-1</sup>	17,5 t ha <sup>-1</sup>	25 t ha <sup>-1</sup>

Para ello se estudiaron los parámetros edáficos antes y después de la fertilización (pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, C orgánico, relación C/N, N, P y bases intercambiables (Ca, Na, K, Mg) + Al para la determinación de la capacidad de intercambio catiónico efectiva. También se estudió el estado nutricional de los clones a través del análisis de los nutrientes (N, P, Ca, Mg, K y Fe) presentes en las hojas tras el proceso de fertilizado y finalmente se llevó a cabo un inventario donde midieron el n° de brotes por pie o cepa, la altura de los mismos y el diámetro basal de cada brote (0,25 m) para la determinación del volumen de madera final aprovechable por hectárea.

## 2. Material y métodos

Los datos proceden de las 18 parcelas experimentales repobladas con el clon Olof 1150 (*Salix viminalis* L. x (*Salix viminalis* L. x *Salix schwerini* E. Wolf.)). Éstos cultivos energéticos se iniciaron en 2008 y tras el primer periodo de rotación (4 años) los clones fueron cortados a ras mediante la técnica de vástagos y posteriormente las parcelas fueron fertilizadas con niveles crecientes de compost EDAR (0 t ha<sup>-1</sup>, 17,5 t ha<sup>-1</sup> y 25 t ha<sup>-1</sup>). En la tabla 4 se detalla la composición del compost, facilitada por la empresa COGERSA:

**Tabla 4.** Composición compost EDAR (COGERSA)

Extracto húmico total	Ácidos húmicos	Ácidos fúlvicos	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N total	N orgánico	NO <sub>3</sub>	NH <sub>3</sub>
(%)								
20,05	11	8,2	4,51	1,13	3,35	2,25	0,11	0,99

**Tabla 4.** (Continuación)

Partículas >2 mm	Partículas <2 mm	Humedad	C/N	Conductividad	pH	Materia orgánica	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O
%				dS m <sup>-1</sup>			(%)		
30,3	69,7	42,3	10	4,9	8,7	58,29	10,46	0,92	0,23

**Tabla 4.** (Continuación)

SO <sub>3</sub>	B	Fe	Mn
(%)			
2,63	0,01	1,59	0,05

Las parcelas se encuentran situadas en antigua la escombrera Mozquita Norte (Concejo de Langreo). Mozquita Norte, en concreto, ocupa parte del anticlinal complejo de Santa Rosa y reposa sobre un sustrato paleozoico del Westfaliense Medio, formado por pizarras, areniscas, conglomerados y carbón. La textura del suelo fue determinada en ensayos anteriores y es de carácter franco-arcillosa, tratándose de un suelo poco profundo con un valor medio de 0,366 m y de pendiente media con un valor medio del terreno de 20,829% (Fernández-Braña, 2013).

Según la clasificación bioclimática de Rivas-Martínez (2007), Mozquita Norte se encuadra, al igual que el resto de la Cornisa Cantábrica, en el límite meridional de influencia del macrobioclima templado, lo que garantiza unas condiciones de precipitación apropiadas para el sauce.

Los análisis de suelo aportan valiosas indicaciones sobre los nutrientes que se encuentran en el suelo de forma asimilable. Dan información sobre las características físico-químicas del suelo que inciden sobre el comportamiento de los fertilizantes. Para

el análisis de los parámetros edáficos se tomaron muestras de suelo en cada una de las parcelas, con un recorrido en zig-zag, evitando los bordes, a una profundidad de 0-20 cm. con la ayuda de una sonda holandesa como se muestra en las figuras 5 y 6. Se obtuvieron muestras compuestas por la homogeneización de 5 submuestras, con el fin de abarcar la variabilidad de la parcela. Las muestras se secaron al aire a temperatura ambiente, se desmenuzaron, se trituraron suavemente y se hicieron pasar a través de un tamiz de 2 mm de malla circular, para descartar las partículas gruesas, finalmente fueron etiquetadas y guardadas en bolsas de plástico para su posterior análisis en el laboratorio.



**Figura 5.** Recogida de muestras de suelo



**Figura 6.** Almacenaje de las muestras de suelo

No fue necesario el análisis de la textura ya que ésta ya había sido analizada en ensayos anteriores según el método de la pipeta Robinson, con hexametáfosfato sódico y  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  como dispersante; para el pH se usó un potenciómetro y el suelo en una suspensión de agua 1:2.5; las sales solubles en el extracto 1:5; las bases extraíbles con  $\text{NH}_4\text{Cl}$  1N (Peech et al., 1947) y Al intercambiable con  $\text{KCl}$  1M, ambos por absorción atómica en un equipo modelo Perkin Elmer precisely (A. Analyst 200). A continuación se calculó la capacidad de intercambio catiónico efectiva mediante la suma de los cationes básicos más el aluminio de cambio (Kamprath, 1970); nitrógeno total por el método Kjeldahl (Klute, 1996); el carbono orgánico por ignición, para el fósforo disponible se utilizó la técnica de Mehlich 3 (Mehlich, 1985), por ser la más adecuada para la estimación de fósforo asimilable en una amplia gama de suelos (Fernández, 1997; Monterroso et al., 1999; Afif y Oliveira, 2006).

El análisis nutricional se realizó en hojas de crecimiento del año, según el procedimiento del Instituto de Investigación Forestal Neozelandés (Will, 1985). Se recogieron 20 g de muestra foliar por parcela de forma aleatoria y se guardaron y etiquetaron en bolsas de papel como muestra la figura 7. Tras el lavado de las hojas

de *S. viminalis*, éstas se sometieron a un proceso de secado en una estufa a 70°C durante 48 horas y posteriormente se trituraron. Una vez realizado este tratamiento, se procedió a la extracción húmeda mediante la aplicación de ácido perclórico y ácido nítrico (Jones et al., 1991), diluyéndose con HCl 1N. A partir de esta dilución se analizaron el Ca, Mg, Fe y K por absorción atómica en un espectrofotómetro Perkin Elmer precisely (A. Analyst 200); el P se determinó fotométricamente y el N total por el método Kjeldahl.



**Figura 7.** Almacenaje de muestras foliares.

Para la determinación de los parámetros de crecimiento del cultivo se ha seguido el protocolo descrito por la Forestry Commission (2003) para la toma de datos en plantaciones en rotaciones cortas de sauce y chopo, donde figuran el nº de brotes/ pie, la altura de cada brote emitido y el diámetro basal de cada brote, tomado a unos 0,25 m de la base. El procedimiento de recopilación de datos se realizó tomando dentro de cada parcela, una sub-parcela donde se midieron las alturas y diámetros de los rebrotes del octavo árbol de la quinta fila. A partir de esa medición se continuó midiendo en línea recta un total de 10 pies, se cambió a la segunda fila y se midieron otros 10, muestreando un total de 20 pies. De esta forma se obtuvieron los parámetros dasométricos que determinan el volumen final aprovechable.

El tratamiento estadístico de los datos se realizó mediante el programa SPSS 17 (SPSS, 2008). Se usó, en primer lugar, una estadística descriptiva de las variables edáficas consideradas, de las concentraciones de macronutrientes en hojas de *S. viminalis* y también de los parámetros del crecimiento. Posteriormente, se llevaron a cabo análisis de varianza de un factor (ANOVA) en función del nivel de fertilización, en los que la variable respuesta eran los diferentes parámetros edáficos. También se realizó este análisis para los parámetros foliares o nutricionales y de crecimiento como variable respuesta. Finalmente, se efectuó un análisis de correlaciones bivariadas con el coeficiente de correlación de Pearson para analizar la relación entre los incrementos de los parámetros edáficos, antes y después de la fertilización con los parámetros de crecimiento.

### 3. Resultados

#### 3.1. Parámetros edáficos

Las tablas 5 y 6 muestran los resultados máximos, mínimos, medios y la desviación típica obtenidos para los diferentes parámetros edáficos analizados en el laboratorio.

**Tabla 5.** Parámetros edáficos antes de la fertilización

	pH	CE (dS m <sup>-1</sup> )	%MO	%C	C/N	%N	P (mg kg <sup>-1</sup> )	Al	Ca	Na	K	Mg	CICE
								Cmol+ kg <sup>-1</sup>					
<b>Mínimo</b>	4,62	0,07	5,2	3,02	16,53	0,11	8,15	0,93	2,14	0,36	0,47	1,11	5,61
<b>Máximo</b>	7,23	0,21	7,6	4,42	34,41	0,19	25,50	2,93	4,30	1,32	1,19	1,57	9,53
<b>Media</b>	6,44	0,14	6,34	3,69	23,57	0,16	16,74	1,45	3,25	0,57	0,72	1,34	7,33
<b>Desviación típica</b>	0,75	0,04	0,75	0,43	4,80	0,03	4,69	0,47	0,60	0,27	0,21	0,15	1,04

Antes de la fertilización, como se muestra en la tabla X el valor medio del pH de todas las parcelas era de 6,44 el cual disminuyó como se muestra en la tabla 6 tras el proceso de fertilizado. Existe un descenso de la conductividad eléctrica (CE), así como un ligero aumento de la materia orgánica (MO) y por tanto del carbono orgánico (CO).

**Tabla 6.** Parámetros edáficos después de la fertilización

	pH	CE (dS m <sup>-1</sup> )	%MO	%C	C/N	%N	P (mg kg <sup>-1</sup> )	Al	Ca	Na	K	Mg	CICE
								Cmol+ kg <sup>-1</sup>					
<b>Mínimo</b>	3,81	0,03	4,30	2,49	9,25	0,23	9,09	1,44	2,75	0,11	0,31	0,39	6,315
<b>Máximo</b>	6,67	0,08	8,70	5,05	18,17	0,39	55,18	3,62	8,13	0,59	1,42	1,11	12,86
<b>Media</b>	5,82	0,05	6,69	3,88	13,93	0,28	36,78	2,01	5,03	0,36	0,80	0,73	8,92
<b>Desviación típica</b>	0,74	0,01	1,15	0,67	2,62	0,04	13,64	0,59	1,56	0,14	0,27	0,20	1,72

También se observa un fuerte descenso de la relación carbono/nitrógeno (C/N) tras la utilización del compost EDAR. Sin embargo el aporte de N y P provocan un aumento de los mismos en el suelo, hasta casi duplicar su valor tras el proceso. En cuanto a la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) donde se evalúan las bases de cambio y el aluminio intercambiable, se aprecia un aumento en los valores del Ca y el K intercambiables, siendo más notable el caso del Ca de cambio ya que el K intercambiable aumenta levemente. El Na de cambio disminuye su valor tras la fertilización y finalmente el Al intercambiable se ve incrementado, obteniendo como resultado conjunto y final un notable aumento de la capacidad de intercambio catiónico efectiva.

### 3.2. Parámetros foliares y de crecimiento

La tabla 7 recoge los resultados obtenidos tras el análisis en el laboratorio de los diferentes parámetros foliares que muestran el estado nutricional de la planta tras el periodo de fertilización.

**Tabla 7.** Parámetros foliares después de la fertilización

	Ca	Mg	K	Fe	P	N
	Mg g <sup>-1</sup>					
<b>Mínimo</b>	18,99	1,35	1,95	0,02	2,47	17,41
<b>Máximo</b>	25,11	1,76	3,02	0,17	4,47	23,07
<b>Media</b>	21,55	1,43	2,29	0,07	3,45	23,07
<b>Desviación típica</b>	1,71	0,94	0,28	0,04	0,63	2,84

Tras el proceso de fertilización y después del transcurso de un año, se han obtenido una serie de resultados para los parámetros de crecimiento como se observa en la tabla 8 donde se reflejan los valores mínimos, máximos, medios y la desviación típica del número de brotes que se han formado en la cepa durante el rebrote, la altura y el diámetro de los mismos y finalmente el volumen que refleja la cantidad de madera aprovechable para la producción de biomasa.

**Tabla 8.** Parámetros de crecimiento después de la fertilización

	Nº brotes/cepa	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Volumen (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
<b>Mínimo</b>	2,08	237,14	1,45	2,05
<b>Máximo</b>	6,75	353,94	1,82	5,96
<b>Media</b>	4,24	298,25	1,61	3,29
<b>Desviación típica</b>	1,54	35,98	0,10	1,13

### 3.3. Parámetros edáficos en función del tratamiento de fertilización.

La tabla 9 muestra el resultado obtenido tras realizar un ANOVA de un factor, utilizando como tal el nivel de fertilización para estudiar cómo varían los diferentes parámetros edáficos en función de los crecientes aportes de compost de 0 t/ha (F0), 17,5 t/ha (F1) y 25 t/ha (F2)

**Tabla 9.** Parámetros edáficos en función del tratamiento de fertilización.

	Ph	C.E.(dS/m)	% M.O.	% C	C/N	% N	P (mg kg <sup>-1</sup> )
<b>F0</b>	5,94a(0,55)	0,04a(0,01)	6,62a(1,31)	3,84a(0,76)	14,09a(3,52)	0,28a(0,02)	25,01b(13,92)
<b>F1</b>	5,94a(0,23)	0,05a(0,01)	6,98a(0,67)	4,05a(0,39)	14,02a(2,47)	0,30a(0,06)	42,50a(7,53)
<b>F2</b>	5,58a(1,18)	0,06a(0,02)	6,47a(1,46)	3,75a(0,85)	13,68a(2,19)	0,27a(0,03)	42,83a(11,51)

Las diferencias significativas en los valores medios se indican con letras distintas, a > b (test de Tukey, p < 0,05) y las desviaciones estándar se muestran entre paréntesis; F0: sin fertilizante, F1: 17,5 t/ha de compost EDAR, F2: 25t/ha de compost EDAR

**Tabla 9.** (Continuación)

	Al	Ca	Na	K	Mg	C.I.C.E.
	<b>Cmol+ kg<sup>-1</sup></b>					
<b>F0</b>	1,89a(0,43)	5,11a(1,63)	0,40a(0,11)	0,79a(0,12)	0,79a(0,20)	8,99a(1,57)
<b>F1</b>	2,07a(0,58)	5,19a(1,67)	0,31a(0,15)	0,85a(0,35)	0,73a(0,23)	9,15a(2,39)
<b>F2</b>	2,09a(0,79)	4,77a(1,64)	0,36a(0,15)	0,76a(0,34)	0,65a(0,19)	8,62a(1,30)

Las diferencias significativas en los valores medios se indican con letras distintas, a > b (test de Tukey, p < 0,05) y las desviaciones estándar se muestran entre paréntesis; F0: sin fertilizante, F1: 17,5 t/ha de compost EDAR, F2: 25t/ha de compost EDAR.

Solo se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el caso del P para los tratamientos F1 y F2 en relación con el control (F0) como se observa en la tabla X.

### 3.4. Parámetros foliares en función del tratamiento de fertilización.

Para el estudio de los parámetros foliares en función del nivel de fertilización, se realizó un ANOVA unifactorial donde se estudiaron los principales elementos presentes en las hojas de sauce teniendo en cuenta las distintas cantidades de compost utilizadas en la fertilización como se refleja en la tabla 10:

**Tabla 10.** Parámetros foliares en función del tratamiento de fertilización.

	Ca	Mg	K	Fe	P	N
	<b>mg g<sup>-1</sup></b>					
<b>F0</b>	22,23a(2,26)	1,41a(0,05)	2,17a(0,24)	0,07a(0,03)	2,77b(0,47)	22,01a(1,74)
<b>F1</b>	20,27a(1,14)	1,45a(0,15)	2,42a(0,34)	0,08a(0,04)	3,86a(0,31)	23,88a(2,13)
<b>F2</b>	22,15a(0,77)	1,43a(0,05)	2,17a(0,24)	0,08a(0,06)	3,7a(0,46)	23,31a(4,20)

Las diferencias significativas en los valores medios se indican con letras distintas, a > b (test de Tukey, p < 0,05) y las desviaciones estándar se muestran entre paréntesis; F0: sin fertilizante, F1: 17,5 t/ha de compost EDAR, F2: 25t/ha de compost EDAR.

Se encuentran diferencias estadísticamente significativas, también el caso del P, de los dos tratamientos (F1 y F2) en relación con el control (F0) como ocurría anteriormente en los parámetros edáficos.

### 3.5. Parámetros de crecimiento en función del tratamiento de fertilización.

Se ha realizado un estudio de los parámetros del crecimiento, tales como el número de brotes, su altura y diámetro y el volumen final de madera aprovechable para la producción de biomasa mediante un ANOVA unifactorial tomando como factor los diferentes niveles de fertilización, como se muestra en la tabla 11:

**Tabla 11.** Parámetros de crecimiento en función del tratamiento de fertilización.

	Nº brotes/cepa	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Volumen (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
<b>F0</b>	2,71b(0,55)	266,33b(28,51)	1,59a(0,14)	2,77a(1,10)
<b>F1</b>	4,65a(1,40)	309,12ab(28,80)	1,63a(0,10)	3,62a(1,41)
<b>F2</b>	5,35a(1,14)	319,29a(29,37)	1,60a(0,046)	3,50a(0,80)

Las diferencias significativas en los valores medios se indican con letras distintas, a > b (test de Tukey, p < 0,05) y las desviaciones estándar se muestran entre paréntesis; F0: sin fertilizante, F1: 17,5 t/ha de compost EDAR, F2: 25t/ha de compost EDAR.

Se observaron diferencias estadísticamente significativas en el caso del número de brotes por cepa donde se aprecian diferencias en los tratamientos F1 y F2, respecto al control (F0), ocurriendo exactamente lo mismo en el caso de la altura.

### 3.6. Influencia del incremento de los parámetros edáficos en el crecimiento

Para conocer cómo repercuten los diferentes tratamientos de fertilización sobre el crecimiento de la plantación, se ha realizado un estudio de la covarianza para determinar las correlaciones entre los parámetros del crecimiento y los incrementos, ya sean negativos o positivos, producidos en los parámetros del suelo antes de la fertilización y después de la misma, ya que estas oscilaciones son las que definen finalmente los aportes de los elementos del suelo al crecimiento. En la tabla 12 se muestran los valores obtenidos de las correlaciones Pearson y de la covarianza:

**Tabla 12.** Correlaciones Pearson y covarianza entre el incremento de los parámetros del suelo (resultados obtenidos tras la fertilización menos los resultados obtenidos antes de la fertilización) y los parámetros de crecimiento.

	Nº brotes/cepa	Altura (cm)	Diámetro (cm)
<b>Δ CE</b>			-0,534* -0,002
<b>Δ CN</b>	0,580* 5,683		
<b>Δ N</b>	-0,733** -0,051		
<b>Δ Al</b>			0,479* 0,023
<b>Δ K</b>		-0,504* -6,845	
<b>Δ Mg</b>		-0,514* -5,029	-0,514* -5,029

\*: Significativo el nivel P<0,05; \*\*: significativo el nivel P<0,01

En el caso del número de brotes por cepa se observa que éstos aumentan con el incremento de la relación C/N y disminuyen con el aporte de N. La altura de los brotes aumenta a medida que disminuyen el K y el Mg intercambiables. También se observa que el diámetro de los vástagos aumenta cuando la CE y el Mg de cambio disminuyen.

#### 4. Discusión

Tras el proceso de fertilización se produjo un descenso del pH como se observa en las figuras 8 y 9 (cuartiles, valores máximo y mínimo y mediana. Los valores atípicos están representados por un punto y los extremos por un ascerisco) cuyo valor medio pasó de ser ligeramente ácido (6,44) a medianamente ácido (5,82), éste intervalo es adecuado para la mayoría de los cultivos y en él se presenta la máxima disponibilidad de nutrientes asimilables para la planta según los intervalos establecidos por el USDA (Fuentes-Yagüe, 1999). La aplicación de fertilizante contribuye a la disminución de pH del suelo (Liebig et al., 2002). Esta acidificación del suelo puede ser provocada por el aporte de N, ya que la nitrificación tiene lugar con gran intensidad en intervalos de pH comprendidos entre 6,5 y 8. Tanto la nitrificación como la amonificación son procesos necesarios para que la planta pueda absorber el N de forma inorgánica y tienen como consecuencia la acidificación del suelo (Fuentes-Yagüe, 1999).

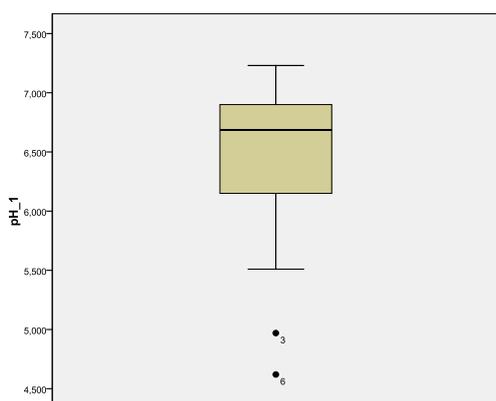


Figura 8. Descriptivos pH antes de la fertilización

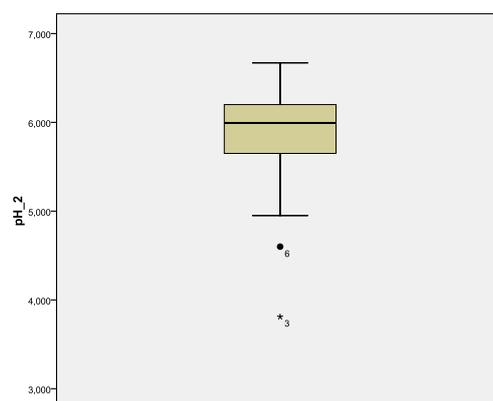


Figura 9. Descriptivos pH después de la fertilización

La CE sufrió un descenso, adquiriendo un valor tras la fertilización de  $0,05 \text{ dS m}^{-1}$  y sigue manteniéndose en un valor inferior a  $0,35 \text{ dS m}^{-1}$ , lo que implica que el terreno se siga considerando no salino (Fuentes-Yagüe, 1999). Estos valores indican que hay pocas sales disueltas y poco sodio adsorbido (Honorato, 2001). En las figuras 10 y 11 se representan los valores descriptivos de la CE antes y después de la fertilización:

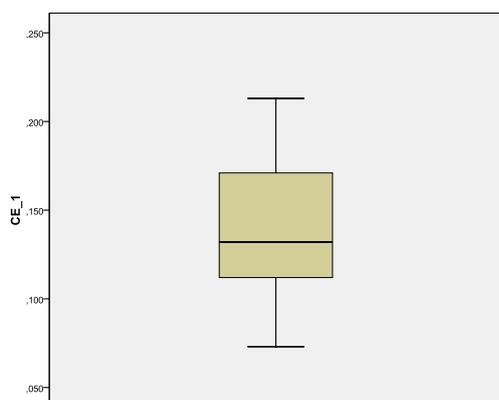


Figura 10. Descriptivos CE antes de la fertilización

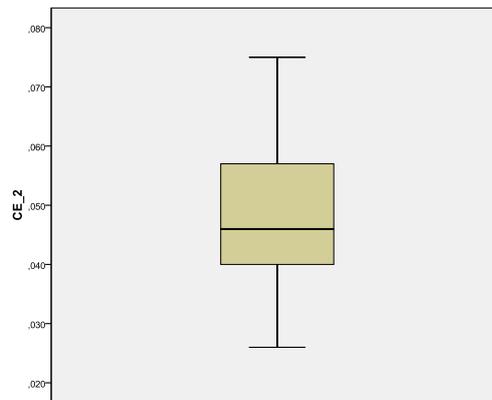
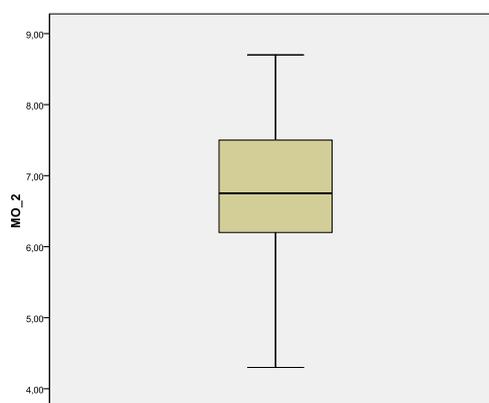
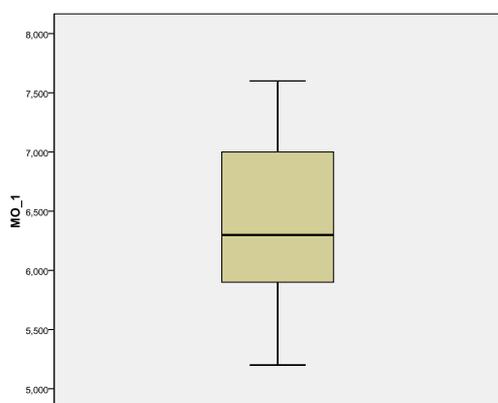


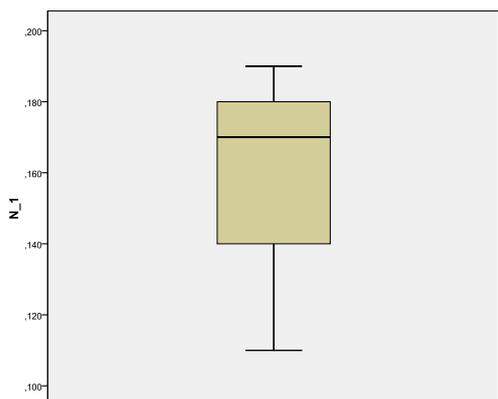
Figura 11. Descriptivos CE después de la fertilización

El porcentaje de MO es indicador de la salud de los de los suelos (Sainz-Rozas, 2011). La MO se refiere a la cantidad de restos orgánicos que se encuentran alterados y por tanto pueden dar lugar a aumentar el contenido en nutrientes del suelo. En el caso que nos ocupa el porcentaje aumentó levemente pasando de un valor medio del 6,34 al 6,69% de contenido de MO, ambos porcentajes se evalúan como muy altos, teniendo en cuenta los niveles orientativos de materia orgánica en el suelo (Fuentes-Yagüe, 1999). Esto repercute en el aumento de la capacidad de intercambio catiónico en el suelo, favoreciendo su agregación y el desarrollo radical, siendo un elemento muy positivo en la lucha contra la erosión de suelos. La MO también favorece el desarrollo de la microfauna edáfica. Todos estos factores hacen que este parámetro sea muy útil para conocer de forma indirecta la fertilidad de un suelo determinado (Garrido-Valero, 1993; Honorato, 2001). El carbono orgánico (CO) se obtiene directamente de la medición de la MO, por lo tanto también ha sufrido un ligero aumento y nos encontraríamos en unos niveles excelentes para el cultivo ya que se relaciona con la sustentabilidad de los sistemas agrícolas afectando a las propiedades del suelo relacionadas con el rendimiento sostenido de los cultivos como la cantidad y disponibilidad de nutrientes del suelo aumentando la solubilidad de los mismos. (Fernández-Reyes, 2010).

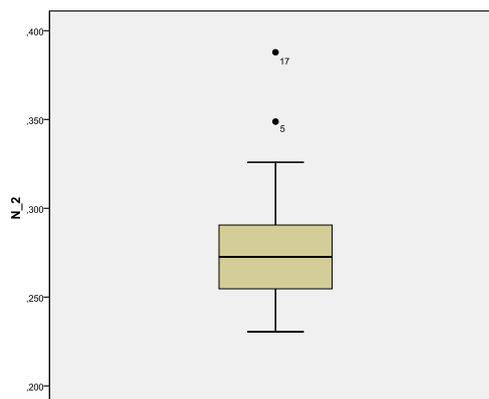


**Figura 12.** Descriptivos MO antes de la fertilización **Figura 13.** Descriptivos MO después de la fertilización

El aporte de la fertilización se ve reflejado en el aumento del porcentaje de N presente en el suelo, que en este caso ha llegado casi a duplicarse pasando de encontrarse su media en un valor normal de 0,16% a un valor alto de 0,28% (Fuentes-Yagüe, 1999), esto repercute directamente en la disminución del pH (acidificación) y en la C/N como hemos comentado anteriormente. Se considera que el análisis del N orgánico junto al amoniacal es representativo en suelos de cultivos intensivos, donde se fertiliza bastante (Garrido-Valero, 1993). Los valores descriptivos del N antes y después de la fertilización se reflejan en las figuras 14 y 15:

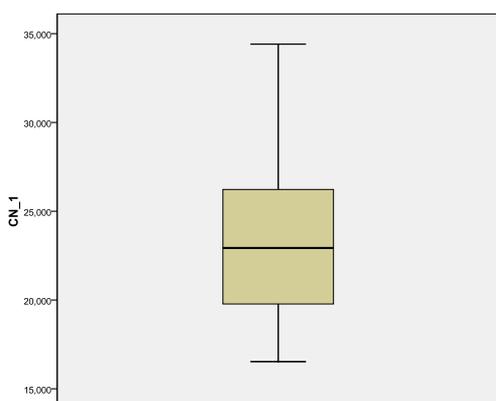


**Figura 14.** Descriptivos N antes de la fertilización

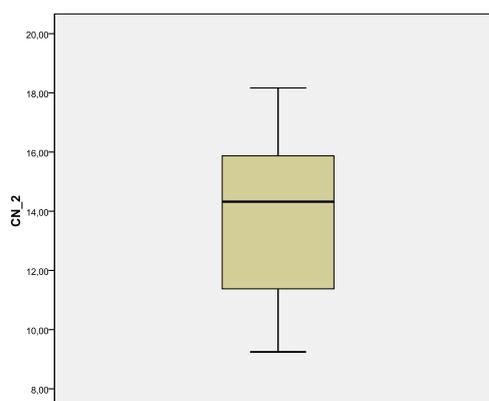


**Figura 15.** Descriptivos N después de la fertilización

Como se observa en las gráficas 16 y 17 el valor medio de la relación carbono/nitrógeno (C/N) disminuyó notablemente pasando de un valor de 23,57 a 13,93. La relación C/N de la fracción humificada de la materia orgánica del suelo va de 10 a 15 y la tendencia al enterrar residuos orgánicos con diferente relación C/N, es hacia ese valor. De ahí que la C/N de los residuos orgánicos agregados, va a afectar los procesos de mineralización e inmovilización del N (Honorato, 2001).



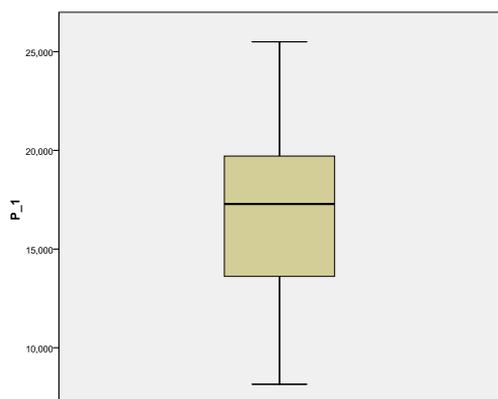
**Figura 16.** Descriptivos C/N antes del fertilizado



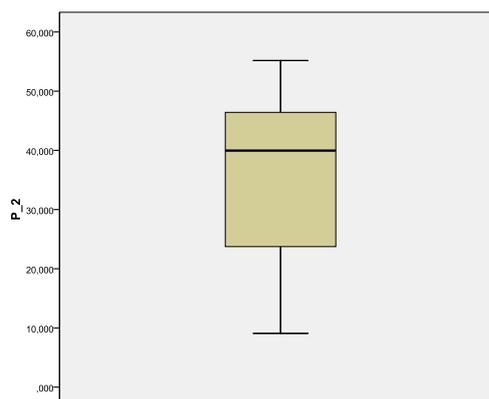
**Figura 17.** Descriptivos C/N después del fertilizado

Lo mismo ocurre en el caso del P Mehlich 3, como se aobserva en las gráficas 18 y 19, donde el valor medio tras la fertilización es más del doble del inicial, alcanzándose un valor medio después del abonado de 36,78 mg kg<sup>-1</sup>. Teniendo en cuenta que el nivel crítico de P es de 30 mg kg<sup>-1</sup> para suelos forestales (Fuentes-Yagüe, 1999) podemos decir que el aporte de compost implica un importante beneficio, ya que éste se encontraba por debajo del límite recomendable e interviene activamente en el crecimiento de las plantas (Fuentes-Yagüe, 1999). El P solo puede ser asimilado por parte de las plantas cuando está contenido en la solución del suelo o de forma coloidal. Esta solubilidad depende de la presencia de otros iones (Ca, Fe, Al) y del pH

del suelo que ha de estar comprendido entre 6 y 7,5 (Fuentes-Yagüe, 1999), por lo que nos encontramos en un rango de pH propicio para su disponibilidad.

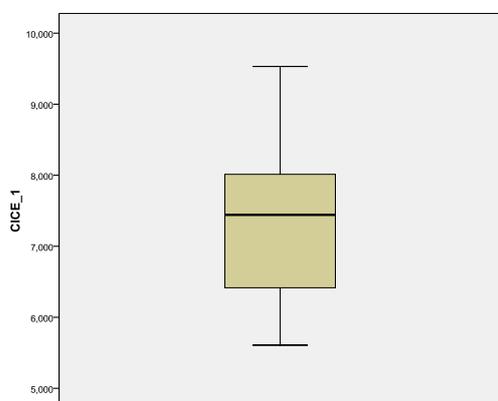


**Figura 18.** Descriptivos P antes de la fertilización

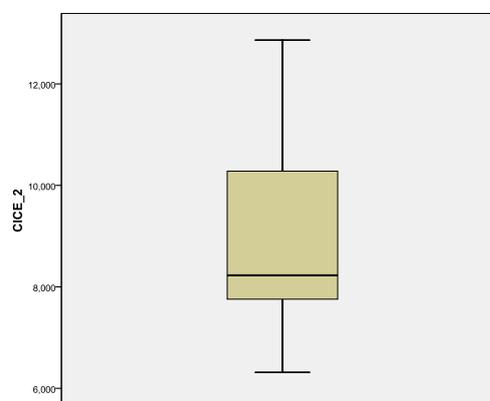


**Figura 19.** Descriptivos P después de la fertilización

El aumento de la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE), reflejada en las figuras 20 y 21, está íntimamente ligada al proceso de fertilización, pH y MO obtenidos, ya que la adsorción de iones es de gran importancia para la reacción del suelo (pH), el suministro de nutrientes, la estructura y los procesos de formación del suelo (Honorato, 2001). Se observa un aumento de Ca y el K intercambiable y una disminución del Mg y Na de cambio, esto es debido a que cuando aumenta la concentración de un determinado catión en la solución por la incorporación de un fertilizante, se altera el equilibrio solución-complejo de cambio; para restablecerlo se precisa un trasvase de cationes desde la solución al complejo. Para que esto ocurra es necesario que otros cationes pasen del complejo a la solución, ya que la capacidad de adsorción del complejo es limitada. El descenso del Na de cambio tendría una implicación directa en el descenso de la CE y el incremento del Al intercambiable en la acidificación del suelo o descenso del pH (Fuentes-Yagüe, 1999).



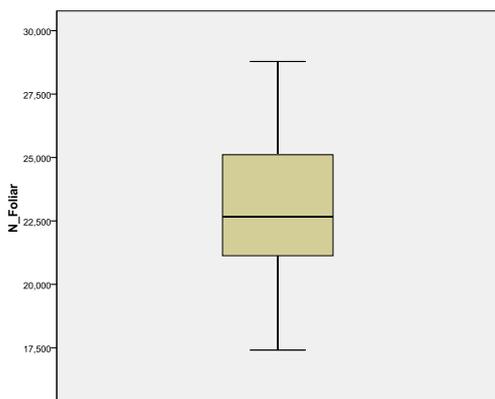
**Figura 20.** Descriptivos CICE antes del fertilizado



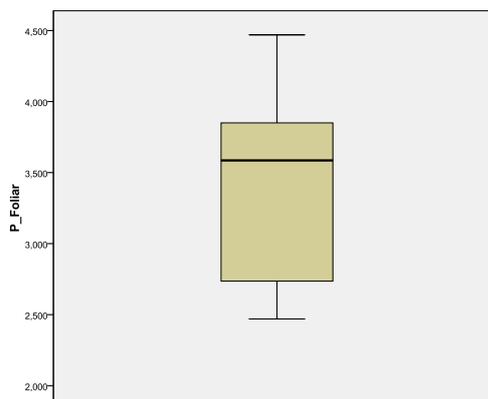
**Figura 21.** Descriptivos CICE después del fertilizado

En cuanto a los parámetros foliares analizados se observa un buen estado nutricional de la planta tras la fertilización. En el caso del N ha de estar en torno a un 2% (20 mg g<sup>-1</sup>) presente en las hojas de las plantas (Fuentes-Yagüe, 1999), por lo que nos encontramos en unos niveles óptimos del mismo como se observa en la gráfica 22. El

valor medio del P foliar ( $3,45 \text{ mg g}^{-1}$ ) es superior, como se representa en la gráfica 23, al encontrado por el USDA (1993) en hojas de sauce joven (*Salix pulchra Cham*) con un valor de  $1,26 \text{ mg g}^{-1}$ .

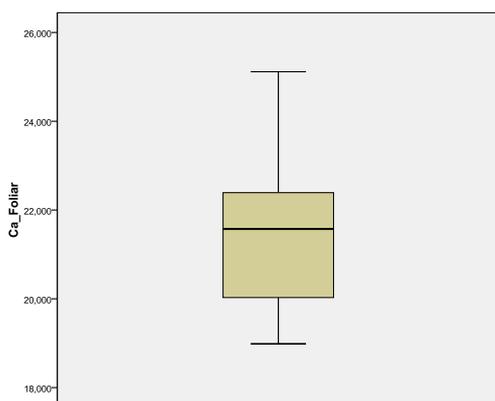


**Figura 22.** Descriptivos N foliar

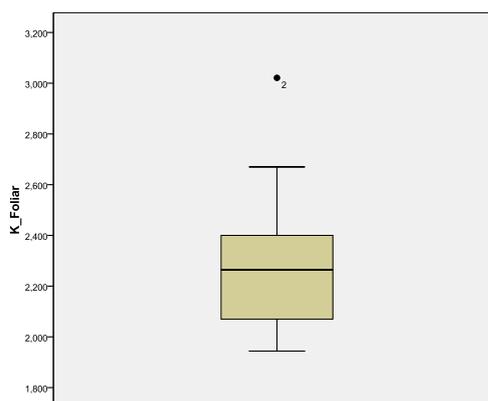


**Figura 23.** Descriptivos P foliar

En el caso del Ca foliar si lo comparamos con el presente normalmente en otras frondosas como el avellano, éste ha de estar en un intervalo de  $10 \text{ a } 25 \text{ mg g}^{-1}$  (Fuentes-Yagüe, 1999), por lo que nos encontramos en un nivel adecuado, como muestra la gráfica 24. No ocurre lo mismo en el caso del K, representado en la gráfica 25, que se encuentra por debajo del intervalo de  $8 \text{ a } 20 \text{ mg g}^{-1}$ , aunque hay que tener en cuenta que estas comparaciones son orientativas, ya que no todas las especies vegetales tienen los mismos requerimientos.

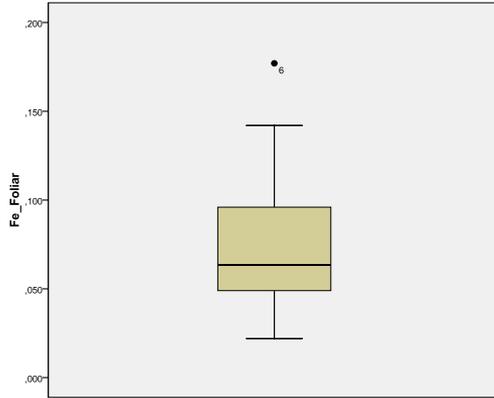


**Figura 24.** Descriptivos Ca foliar

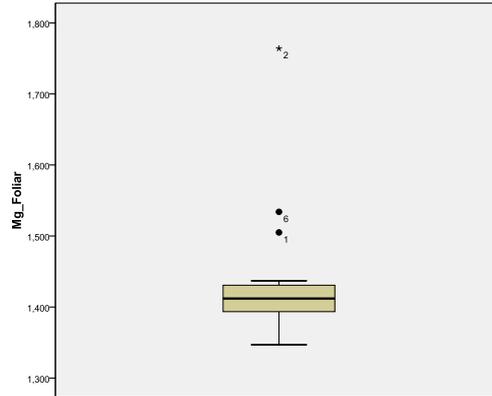


**Figura 25.** Descriptivos K foliar

El Fe foliar es algo superior al determinado por el USDA en hojas de sauce joven (1993), encontrándose dentro de los niveles normales (Fuentes-Yagüe) como se observa en la gráfica 26. El Mg constituye normalmente cerca del 0,5% ( $5 \text{ mg g}^{-1}$ ) de la biomasa total de las plantas (Navarro & Navarro, 2003); sin embargo las diferentes especies vegetales pueden presentar un rango relativamente amplio en su contenido total (entre 0,07 y 9%) (Larcher, 2003), por lo que nuestro valor se encuentra dentro de los niveles deseables como se muestra en la gráfica 27.

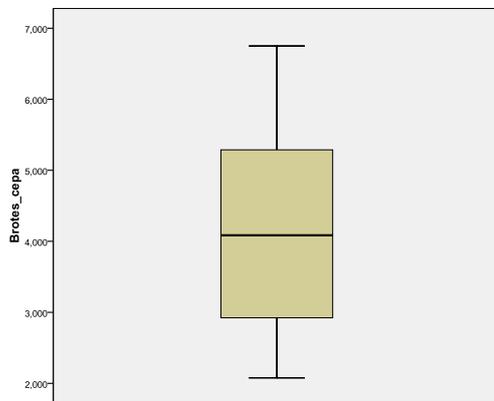


**Figura 26.** Descriptivos Fe foliar

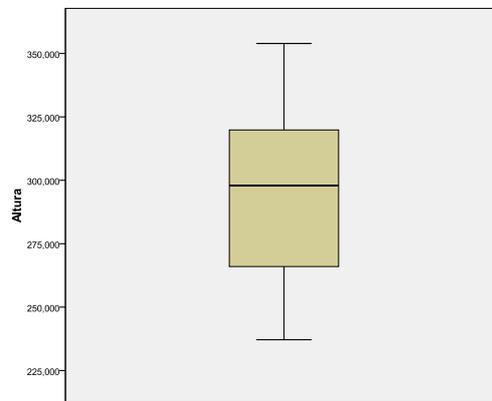


**Figura 27.** Descriptivos Mg foliar

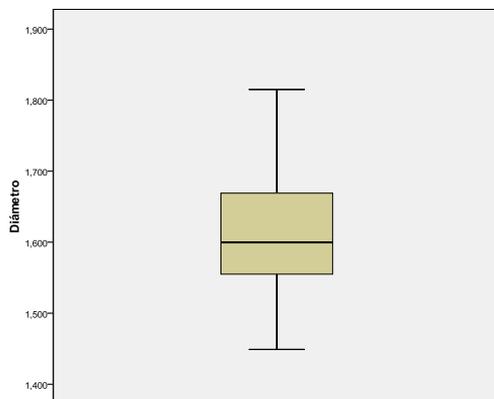
En las figuras 28, 29, 30 y 31 se encuentran representados los valores descriptivos de cada uno de los parámetros dasométricos analizados:



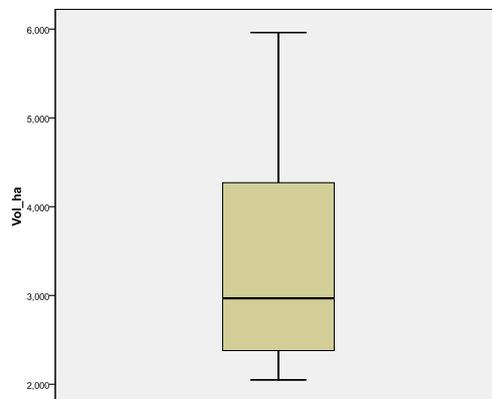
**Figura 28.** Descriptivos N° brotes/cepa



**Figura 29.** Descriptivos altura brotes



**Figura 30.** Descriptivos diámetro a 0,25 cm



**Figura 31.** Descriptivos volumen ( $m^3 ha^{-1}$ )

Los parámetros de crecimiento podría decirse que son satisfactorios si los comparamos con los que figuran en la tabla 13 obtenidos por Stolarski et al. (2013):

**Tabla 13.** Resultados dasométricos de *S. viminalis* obtenidos tras una rotación.

	Nº brotes/cepa	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Rendimiento (mg materia seca ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )
<b>Media</b>	3,9 ± 0,3	606 ± 16	2,9 ± 0,06	14,1 ± 0,9

± Error estándar de la media

Hay que tener en cuenta que los datos representados en la tabla se corresponden con el resultado de una rotación (4 años) y los resultados del presente trabajo se corresponden con el primer año de crecimiento tras el rebrote, por lo que habría que realizar posteriores inventarios de crecimiento para determinar el rendimiento final, aunque estos valores ofrecen una visión muy optimista que parece ir encaminada a una buena producción de biomasa por parte del cultivo.

Cuando comparamos el efecto de los diferentes niveles de fertilización (F0, F1 y F2) sobre los parámetros del suelo, nos encontramos que sólo el P ha presentado diferencias estadísticamente significativas en los tratamientos F1 y F2 respecto a las parcelas control (F0), esto es entendible ya que antes de la fertilización éste se encontraba por debajo del nivel crítico requerido. Ocurriendo exactamente lo mismo en el caso de los parámetros foliares, por lo que se deduce que el P incorporado ha jugado un papel muy importante en cuanto al estado nutricional de los árboles.

Finalmente también se observaron diferencias estadísticamente significativas en el número de brotes por cepa y la altura de los mismos, si tenemos en cuenta los tratamientos F1 y F2 respecto a las parcelas control (F0), determinando que el aporte de compost ha contribuido positivamente al crecimiento de los clones.

Los incrementos producidos en los parámetros edáficos del suelo tras la fertilización parecen determinar que el número de brotes por cepa aumenta a medida que aumenta la C/N y disminuye a medida que se aporta N a través de la fertilización. La relación C/N evalúa la calidad de los restos orgánicos de los suelos y está directamente relacionado con el crecimiento de las plantas (Fuentes-Yagüe, 1999) por lo que el descenso observado en la C/N tras el aporte de compost puede ser debido a un exceso de N amoniacal (Fuentes-Yagüe, 1999) y también puede explicar la correlación negativa obtenida para el N, lo cual estaría evidenciando que el tratamiento F2 constituye un aporte excesivo del mismo.

Por otra parte nos encontramos que el crecimiento en altura de los brotes aumenta a medida que disminuyen el K y Mg intercambiables. Ambos cationes tienen influencia estructural en las plantas, la cual resulta al unir moléculas orgánicas (particularmente enzimas), alterando así su conformación (Mengel & Kirkby, 1987). Esto parece indicar que los aportes de K y Mg más favorables para el crecimiento en altura serían los realizados en las parcelas F1, ya que no hay diferencias significativas entre los tratamientos F1 y F2 cuando analizamos su influencia en el crecimiento y los clones parecen responder mejor ante una concentración más baja de K y Mg intercambiables.

Como observamos en la tabla 12 el crecimiento en diámetro está correlacionado positivamente con el Al de cambio y negativamente con la CE y el Mg intercambiable, en éste último caso, parece que ocurre lo mismo que en los resultados hallados en relación al número de brotes por cepa. El aluminio es el factor más limitante del crecimiento y productividad en los suelos ácidos del mundo (Casierra-Posada & Aguilar-Avedaño, 2007). Valores de pH en el suelo por debajo de 5,5 ocasiona el incremento en la concentración de los iones H<sup>+</sup> y niveles elevados de aluminio, ocasionando la reducción de la concentración de macronutrientes, así como la reducción de la solubilidad del P, causando en último término la inhibición del crecimiento radical (Casierra-Posada, 2002), por lo que se entiende que no existe motivo alguno para preocuparse por la actividad inhibitoria del Al intercambiable. Una alta CE produce un aumento en la salinidad del suelo lo que provoca problemas de infiltración del agua y las plantas tienen que hacer un mayor esfuerzo para absorber el agua (Fuentes-Yagüe, 1999) por lo que parece lógico que el crecimiento en diámetro se vea favorecido por la disminución de la CE.

## 5. CONCLUSIONES

Tras la realización del presente estudio se podría concluir que los tratamientos de fertilización aplicados se han traducido en una mejoría general de los parámetros edáficos, obteniendo un buen estado nutricional de los clones así como en lo relativo a su crecimiento. Esa mejora producida por los tratamientos ha sido especialmente determinante en el caso del P para los parámetros edáficos y foliares y ha repercutido en el número de brotes por cepa y en la altura de los mismos, pareciendo indicar que el tratamiento más adecuado es el F1, ya que no presenta una variación muy acusada de los valores medios respecto al F2 y éste último parece indicar un exceso en N. Por lo tanto, se consideran satisfactorios los resultados obtenidos en cuanto a la viabilidad de los cultivos energéticos para la producción sostenible de biomasa.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afif, K.E. y Oliveira, J. A.,** 2006. Pérdida de disponibilidad y niveles críticos de fósforo Mehlich 3 en suelos no calcáreos de Asturias. *Pastos* 35: 29-74
- Blake, T.J.,** 1983. Coppice systems for short-rotation intensive forestry: the influence of cultural, seasonal and plant factors. *Australian Forest Research*. 13:279–91.
- Bidwell, A. M. y Dowdy, R.H.,** 1987. Cadmium and Zn availability to corn following termination of sewage sludge applications. *J. Environ. Qual.* 16: 438-442.
- Bontoux, L., Vega, M. y Papameletiou D.,** 1998. Tratamiento de las aguas residuales urbanas en Europa: el problema de los lodos. *Instituto de prospectiva tecnológica*, 23: 8-27.
- Brams, E. y Anthony, W.,** 1988. Residual cadmium in soil profile and accumulation in wheat grain. *Plant and Soil*. 109: 3-8.

- Bungart, R. y Hüttl, R.**, 2004. Growth dynamics and biomass accumulation of 8-year-old hybrid poplar clones in a short rotation plantation on a clayey-sandy mining substrate with respect to plant nutrition and water budget. *Eur. J. For. Res.* 123: 105-115.
- Casierra-Posada, F.**, 2002. Alteraciones inducidas por aluminio en el citoesqueleto de las plantas. *Comalfi.* 29(2): 23-30.
- Casierra-Posada, F. y Aguilar-Avenidaño, O.E.**, 2007. Estrés por aluminio en plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. Una revisión. *Revista colombiana de ciencias hortícolas.* Vol. 1. No.2; pp. 246-257.
- Castaño-Díaz, M., Castaño-Santamaría, J., Barrio-Anta, M., Álvarez-Álvarez, P., Afif-Khoury, E., Roces-Díaz, J.V., Gorgoso, J.J. y Cámara-Obregón, A.**, 2003. Cultivos energéticos con sauce, chopo y abedul en terrenos ociosos de la minería: Primeros resultados. 6º Congreso Forestal Español. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Vitoria-Gasteiz.
- Christersson, L. y Verna, K.**, 2006. Silvicultura de rotación corta: un complemento de la silvicultura convencional. *Unasylva*, vol. 57, núm. 223.
- Delgado, M., Porcel, M. A., Miralles de Imperial, R., Beltrán, E., García, J., Bellido, N. y Bigeriego, M.**, 2000. Empleo de compost de depuradora como fertilizante en cultivo de maíz. *Vida Rural* 109: 24-26.
- Demirbas, A.**, 2001. Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. *Energy Convers. Manage.* 42: 1357-1378.
- Deraedt, W. y Ceulemans, R.**, 1998. Clonal variability in biomass production and conversion efficiency of poplar during the establishment year of a short rotation coppice plantation. *Biomass and Bioenergy.* 15:391-8.
- Dickmann, D.I. y Stuart, K.W.**, 1983. The culture of poplars in eastern North America. East Lansing, Michigan: Michigan State University Publications.
- Directiva 86/278/CEE** del Consejo de 12 de junio de 1986 relativa a la protección del medio ambiente y, en particular, de los suelos, en la utilización de los lodos de depuradora en agricultura. Consejo de la Unión Europea. COM/82/0527, COM/84/0240.
- Directiva 91/271/CEE** del Consejo, de 21 de mayo de 1991, relativa al tratamiento de las aguas residuales urbanas. Consejo de la Unión Europea.
- Directiva 91/676/CEE** del Consejo, de 12 de diciembre de 1991, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos procedentes de fuentes agrarias. Consejo de la Unión Europea.

- Directiva 96/61/CE** del Consejo de 24 de septiembre de 1996 relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación. Consejo de la Unión Europea.
- Directiva 2008/98/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. Parlamento Europeo. Consejo de la Unión Europea. COM/2005/667.
- Facciotto, G.**, 2009. Álamos y sauces productores de bioenergía: potencialidad y perspectivas. Jornadas de las Salicáceas. Mendoza.
- Fernández M., L.**, 1997. Evaluación en cámara de crecimiento de tres métodos de determinación de fósforo asimilable en suelos no calcáreos. Edafología 3: 189-203
- Fernández-Braña, A.**, 2013. Evolución de los factores edafológicos y dasométricos de *Salix viminalis* en Mozquita Norte, Langreo (Asturias). Proyecto de Investigación Aplicada. Escuela Universitaria de Ingenierías Técnicas de Mieres, Universidad de Oviedo.
- Fernández- Reyes, J.**, 2010. Relación Factores del Suelo-Producción de Biomasa con *Salix Viminalis* en Mozquita Norte. Proyecto de Investigación Aplicada. Escuela Universitaria de Ingenierías Técnicas de Mieres, Universidad de Oviedo.
- Forestry Comision**, 2003. Mensurational Variables Protocol. En: Yield Models for Energy Coppice of Poplar and Willow.14 pp. Forestry Commission, Ae.
- Fuentes-Yagüe, J.L.**, 1999. El suelo y los fertilizantes. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Mundi-Prensa. Madrid.
- Fuentes-Yagüe, J.L.**, 1999. Manual práctico sobre utilización de suelo y fertilizantes. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Mundi-Prensa. Madrid.
- Gasol, C.M., Martínez, S., Rigola, M., Rieradevall, J., Carrasco, J., Anton, A., Ciria, P. y Gabarrell, X.**, 2009. Feasibility assessment of poplar Bioenergy systems in the Southern Europe. Renew. Sust. Energ. Rev. 13 (4): 801-812.
- Garrido-Valero, M.S.**, 1993. Interpretación de análisis de suelos. MAPA. Hojas divulgadoras. 5. 39 pp.
- Gordon, J.C.**, 1975. The productive potential of woody plants. Iowa State Journal of Research. 49:267–74.
- Greenwood, D.J.**, 1990. Production or productivity the nitrate problem? Annals of applied biology, 117: 209-231.
- Hall, D.O. y House, J.I.**, 1994. Trees and biomass energy: carbon storage and/or fossil fuel substitution? Biomass and Bioenergy. 6:11–30.

- Hall, D.O.**, 1997. Biomass energy in industrialised countries—a view of the future. *Forest Ecol. Manage.* 91: 17–25.
- Hansen, E.A.**, 1991. Poplar woody biomass yields: a look to the future. *Biomass and Bioenergy.* 1:1–7.
- Honorato, R.**, 2001. *Manual de edafología.* Alfaomega. México. 156 p.
- Huettl, R.F., Bens, O. y Schneider, U.**, 2000. Forests and Energy: 1st Hannover EXPO 2000 World Forest Forum, *Ecol. Eng.* 16, 135 pp
- Jarvis, S.C. y Barraclough, D.**, 1991. Variation in mineral nitrogen under grazed grassland swards. *Plant and soil*, 138, 177-188.
- Jones, J.B., Wolf, B. y Mill, H.A.**, 1991. *Plant analysis handbook: a practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide.* Micro-Macro Publishing. Athens, GA, USA. 213 p
- Kamprath, E.J.**, 1970. Exchangeable aluminium as a criterion for liming leached mineral soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 34: 252-54.
- Klute, A.**, 1996. *Methods of Soil Analyses.* 2nd ed. American Society of Agronomy. Madison. WI, USA. pp. 383-411.
- Larcher, W.**, 2003. *Physiological plant ecology; Ecophysiology and stress physiology of functional groups.* Fourth edition. Springer. 513 p.
- Ledin, S. y Willebrand, E.**, 1996. *Handbook on how to grow short rotation forests.* Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Short Rotation Forestry.
- Ley 22/2011**, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. Jefatura del Estado. Gobierno de España. BOE-A-2011-13046.
- Liebig, M.A., Varvel, G.E., Doran J.W. y Wienhold, B.J.**, 2002. Crop sequence and nitrogen fertilization effects on soil properties in the western corn belt. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:596-601.
- Macpherson, G.**, 1995. *Home-grown energy from short-rotation coppice.* Ipswich, UK: Farming Press Books.
- Mateu, J., Mas, J. y Cerda, V.**, 1999. Monitoring the environmental impact of an incinerator plant of solid urban wastes. En: *Analytical methodology in the environmental field*, 65-73. Ed. D. Prada, V. Cerda. Diputación Provincial de A Coruña. A Coruña (España).

- Mehlich, A.**, 1985. Mehlich 3 soil test extractant: a modification of Mehlich 2 extractant. *Soil Sci. and Plant Anal.* 15: 1409-1416.
- Mengel, K. y Kirkby, E. A.**, 2000. Principios de nutrición vegetal. Traducción al español de la 4ª edición (1987). Internacional Potash Institute. Basel, Switzerland. 692 p.
- Miralles de Imperial, R., Beltrán, E.M., Porcel, M.A., Delgado, M.M., Beringola, M.L., Martín, J.V., Calvo, R. y Walter, I.**, 2002. Emergencia de seis cultivos tratados con lodo, fresco y compostado, de estaciones depuradoras. *Int. Contam. Ambient.* 18 (3) 139-146.
- Monterroso, C.F., Álvarez, E. y Fernández, M.L.**, 1999. Evaluation of Mehlich 3 reagent as a multielement extractant in mine soils. *Land Degradation and Development* 10: 35-47.
- Mosquera-Losada, M.R., Rigueiro-Rodríguez, A. y López-Díaz, M.L.**, 2001. Effects of sowing and fertilization with sewage sludge in a sylvopastoral system with pine trees in acid soils in the mountains of Galicia, north-west Spain. *Agroforestry forum.* En prensa.
- Muschler, R.G. y Bonnemann, A.**, 1997. Potentials and limitations of agroforestry for changing land-use in the tropics: experiences from Central America. *Forest Ecol. Manage.* 91, 61–73.
- Navarro, B.S. y Navarro, G.G.**, 2003. Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Segunda edición. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 487 p.
- Oms-Mollá, M.T.**, 1999. Municipal solid waste incineration residues. En: *Analytical methodology in the environmental field*, 75-85. Eds. D. Prada, V. Cerda. Diputación Provincial de la Coruña. A Coruña.
- Orden AAA/1072/2013**, de 7 de junio, sobre utilización de lodos de depuración en el sector agrario. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Gobierno de España. BOE-A-2013-6414
- Peech, M., Alexander, L.T., Dean, L.A. y Reed, J.F.**, 1947. Methods of soil analysis for soil fertility investigations. U.S.D.A. Cir. 757. U.S. Gov. Print. Washington, DC.
- Pérez, S., Renedo, C.J., Ortiz, A., Mañana, M., Delgado, F. y Tejedor, C.**, 2011. Energetic density of different forest species of energy crops in Cantabria (Spain). *Biomass Bioenerg.* 35 (11): 465-4664.
- Perttu, K.L.**, 1995. Ecological, biological balances and conservation. *Biomass and Bioenergy.* 9:107–16.

- Plan Estratégico de Residuos del Principado de Asturias (PERPA) 2014-2024**, 2014. Consejería de Fomento, Ordenación del Territorio y Medio Ambiente. Gobierno del Principado de Asturias.
- Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR) 2008-2015**, 2009. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Gobierno de España. BOE-A-2009-3243.
- Polo M. J., Ordoñez R. y Giráldez J. V.**, 1997. Uso agrícola de lodos de depuradoras. Comunicacion I+D 23/97. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca, Sevilla, 52 p
- Ranney, J.W., Wright, L.L. y Layton, P.A.**, 1987. Hardwood energy crops: the technology of intensive culture. *Forestry*. 85:17–28.
- Rackham, O.**, 2001. Trees and woodland in the British landscape: the complete history of Britain's trees, woods & hedgerows. Phoenix Press, London.
- Real Decreto 506/2013**, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes. Ministerio de la Presidencia. Gobierno de España. BOE-A-2013-7540.
- Rivas-Martínez, S.**, 2007. Mapa de series, Geoseries y geopermaseries de vegetación de España. Memoria del mapa de vegetación potencial de España. Parte 1. Itinera Geobot.
- Sainz-Rozas, H.R., Echeverria, H.E. y Angelini, H.P.**, 2011. Organic carbon and pH levels in agricultural soils of the pampa and extra-pampean regions of Argentina. *Cienc. Suelo*. vol.29 no.1.
- Smith S. R.**, 1996. Agricultural recycling of sewage sludge and the environment. Cab International, UK, 382 p.
- Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)**, 2008. SPSS para Windows, version 17. SPSS Inc.
- Stolarski, M.J., Szczukowskia, S., Tworkowskia, J. y Klasab, A.**, 2013. Yield, energy parameters and chemical composition of short-rotation willow biomass. *Industrial Crops and Products*. 46:60– 65.
- Vande Walle, I., Van Camp, N., Van de Castele, L., Verheyen, K. y Lemeur, R.**, 2007. Short-rotation forestry of birch, maple, poplar and willow in Flanders (Belgium) II – Energy production and CO<sub>2</sub> emission reduction rotential. *Biomass and Bioenergy*.
- Volk, T.A., Verwijst, T., Tharakan, P.J., Abrahamson, L.P. y White, E.H.**, 2004. Are short-rotation woody crops sustainable? In: *Proceedings of the Second World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection*, Rome, Italy, pp. 34–39.

**Walter, I., Miralles, R. y Bigeriego, M.**, 1992. Efectos de un compost de lodo residual sobre el rendimiento y contenido de Cd y Ni en diversos cultivos. Suelo y Planta. 2: 675-684.

**Will, G.M.**, 1985. Nutrient deficiencies and fertilizer use in New Zealand exotic forests. F.R.I. Bulletin No. 97. Rotorua, New Zealand. 53 p.

**Páginas web consultadas:**

[http://es.wikipedia.org/wiki/V%C3%A1stago#mediaviewer/Archivo:Coppice\\_stool2.JPG](http://es.wikipedia.org/wiki/V%C3%A1stago#mediaviewer/Archivo:Coppice_stool2.JPG)

<http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/8052?fg=&man=&facet=&count=&max=25&sort=&qlookup=willow&offset=&format=Full&new=&measureby=>