



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-147

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Resultados preliminares: Evaluación de fertilizante orgánico (lodos de depuradora) y químico, para el establecimiento de cultivos energéticos forestales en terrenos baldíos en Asturias, Norte de España

CASTAÑO-DÍAZ, M.¹, AFIF KHOURI, E.¹, BARRIO-ANTA, M.¹, GONZÁLEZ-LAFUENTE, J.M.², MENENDEZ-RODRIGUEZ, J.² y CÁMARA-OBREGÓN, A.¹

¹ Grupo de Investigación en Sistemas Forestales Atlánticos (GIS-Forest). Departamento de Biología de Organismos y Sistemas, Escuela Politécnica de Mieres, Universidad de Oviedo, 33600, Asturias.

² COGERSA, Gestión de Residuos Sólidos de Asturias, La Zoreda, Serín, 33697. Gijón, Asturias.

³ SADIM-Grupo Hunosa, C/ Jaime Alberti, 2. 33900, Ciaño- Langreo. Asturias.

Resumen

Uno de los objetivos del proyecto LifeSludge4Biomass en el que participan Cogersa, el Grupo Hunosa y la Universidad de Oviedo, está basado en la implementación de un sistema de reciclaje de lodos procedentes de depuradora a través de la producción de compost de calidad (compost Cogersa AERO) para su empleo como fertilizante en sistemas forestales de diferente naturaleza que responda a la legislación vigente. La investigación se basa en comparar el rendimiento del cultivo con diferentes dosis de compost orgánico y fertilizante químico en cultivos energéticos de rotación corta con sauce (*Salix* sp.) en terrenos ociosos como minas en desuso y pastos abandonados, en Asturias. El proyecto se inicia en 2013 y parte de resultados de investigaciones previas desarrolladas entre 2008 y 2012 por la Universidad de Oviedo y el Grupo Hunosa en las que se emplearon fertilizantes químicos. Los resultados preliminares del presente estudio indican como el crecimiento de la especie empleada se ve favorecido por el empleo de compost orgánico en comparación con el fertilizante químico y las parcelas sin fertilizar. Se pretende buscar una revalorización del compost orgánico para que pueda ser empleados como fertilizante para cultivos forestales en Asturias.

Palabras clave

Áreas de minería, tierras agrícolas abandonadas, lodos de depuradora, compost, crecimiento, sauce, SRC.

1. Introducción

La región de Asturias, en el noroeste de España cuenta con abundantes recursos energéticos tanto naturales como fósiles. Esta zona presenta un clima oceánico con altas precipitaciones anuales, que a pesar de que durante el verano las precipitaciones disminuyen en algunas áreas, la sequía fisiológica no se produce en ninguna parte de esta región que está completamente incluida en la Región Biogeográfica Europea Atlántica. Esto hace que se promueva el desarrollo de una exuberante vegetación natural (EEA, 2011). Debido a estas circunstancias, el potencial de crecimiento de la biomasa en esta área es innegable.

La actividad de la minería de carbón ha sido una de las fuentes más importantes de empleo e ingreso económico en Asturias durante el pasado siglo. Este sector económico se encuentra actualmente en clara recesión, dejando una gran cantidad de tierras mineras recuperadas (ANTUÑA, 2005), algunas de ellas con un alto potencial para la Cultivos de Rotación Corta (SRC). Lo mismo ocurre con el sector agropecuario, que ha sido un importante sector de actividad en Asturias, a pesar de ello, el número de granjas está disminuyendo dramáticamente, así como el número de cabezas de ganado, especialmente en el caso de los bovinos, y por consiguiente las tierras dedicadas al pastoreo.

Los cultivos energéticos son plantaciones de rápido crecimiento (2 a 10 años), cuyo objetivo es producir la mayor cantidad posible de biomasa, con el fin de generar energía (SEVEL, et al., 2014). Estos cultivos pueden ser implementados diversos tipos de suelos: en tierras marginales o degradadas (ZURBA et al., 2013), en superficies agrícolas abandonadas (BROECKX et al., 2012), o incluso en antiguos terrenos mineros (GRUENEWALD et al., 2007). En la Cuenca Carbonífera Central asturiana, la instalación de estos cultivos serviría para impulsar socio-económicamente estas áreas

que en la actualidad se están viendo muy afectadas y serviría para darles un uso sostenible a largo plazo.

Clones del género *Salix* han sido seleccionados debido a su buen crecimiento y capacidad de rendimiento para una energía óptima en cultivos de rotación corta (KEOLEIAN & VOLK, 2005). Su bajo contenido de azufre y escasa producción de cenizas y, por lo tanto, baja emisión de metales traza representan ventajas ambientales importantes. Otros beneficios ambientales de esta especie frente a los cultivos agrícolas es su extenso sistema radicular con finas raíces, lo que reduce la erosión del suelo (KUZOVKINA & QUIGLEY, 2005). También proporciona un ciclo estable de acumulación de carbono nutritivo en sus raíces y un mayor contenido de materia orgánica en el suelo.

En varios países se investigó el uso de aguas residuales y lodos como fuentes de nutrientes, en la SRC, como una alternativa barata a los fertilizantes convencionales (LABRECQUE et al., 1997; ARONSSON & PERTTU, 2001); Además de encontrar una salida al exceso de lodos de aguas residuales. Varios estudios indican el potencial de la aplicación de aguas residuales y lodos de alcantarillado a SRC para aumentar la rentabilidad del cultivo, disminuyendo los costos de fertilización y aumentando la producción de biomasa (BÖRJESSON & BERNDES, 2006; DIMITRIOU & ROSENQVIST, 2011). A pesar de que los lodos de depuradora son un residuo, si se tiene en cuenta su contenido en materia orgánica y otros nutrientes, la posibilidad de utilizarlo en la agricultura es una alternativa prometedora. Es muy importante analizar el lodo de las aguas residuales antes de darle un uso como fertilizante agrícola; además de lo importante que es conocer el contenido de metales pesados del suelo donde se aplica (JAMA & NOWAK, 2012), para que no suponga una problemática al medio natural.

En 2013, el Grupo de Investigación de Sistemas Forestales Atlánticos (*GIS-forest*) de la Universidad de Oviedo junto con el Grupo Hunosa (la empresa minera más importante de la región de Asturias) y Cogersa (Empresa que se encarga de la gestión de Residuos Sólidos de Asturias) comenzaron con esta investigación en antiguas terrenos dedicados a la minería y en tierras naturales, debido a la importancia del problema ambiental que genera los lodos de depuradora y la necesidad de encontrar alternativas a su reciclaje como aplicación de compost para mitigar el impacto severo de estos desechos. El compost procedente de lodos (biosólidos) producido por Cogersa (nombre comercial: Compost COGERSA AERO), es una enmienda ideal para reemplazar los fertilizantes químicos, ya que proporciona materia orgánica, mantiene la humedad y mejora las propiedades del suelo.

2. Objetivos

El estudio tuvo como objetivo mostrar la factibilidad de usar las aguas residuales procedentes de lodos como generador de compost orgánico para ser utilizado como fertilizante en sistemas de biomasa forestal productiva, además de manifestar las ventajas tanto ambientales, como económicas que tiene en comparación con los fertilizantes químicos convencionales. Su finalidad fue examinar el potencial de estas prácticas para aumentar la producción de bioenergía en SRC en áreas marginales o terrenos agrícolas abandonados.

3. Metodología

3.1. Descripción del sitio

Mozquita

Desde 2008, Hunosa y Uniovi han participado en un proyecto para evaluar el potencial de establecer cultivos energéticos en este tipo de áreas mineras. La especie forestal ensayada ha sido el sauce (*Salix* spp.). En 2012, este ensayo se completó extrayendo toda la biomasa producida. Los rendimientos fueron muy buenos, y similares a los obtenidos en suelos naturales en otros países del norte de Europa. En el año 2013, el estudio continuó reemplazando el fertilizante químico por el compost Cogersa AERO, en tres dosis diferentes; solamente dejando 18 parcelas del clon más productivo, el clon Olof (de las 54 parcelas iniciales) La zona de estudio se encuentra en Asturias, en el municipio de Langreo, en un área denominada Mozquita (ya restaurada). El área seleccionada

corresponde a una zona recuperada, que cubre aproximadamente 0,72 ha. Se encuentra a una altitud de 400-600 m sobre el nivel del mar y una pendiente entre 0 y 40%. Al inicio del ensayo, el pH del suelo era neutro o ligeramente básico (pH 6,5) y su textura arcillosa.

- Cogersa

El área de estudio está situada en la población de Serin (Gijón), dentro de las instalaciones de COGERSA. La parcela experimental se fija en una tierra agrícola adyacente, que pertenece a la compañía. El área ocupada por la parcela es de 0,2 ha, con una altitud alrededor de 190 m sobre el nivel del mar, y las pendientes menos del 10%. El análisis de suelo al inicio del estudio mostró valores de pH alrededor de 5, interpretados como un suelo ácido, con textura arenosa. En este ensayo, el clon empleado fue el mismo que en el ensayo de Mozquita, el clon Olof (*Salix* spp.)

3.2 Diseño experimental

- Mozquita

Descripción del experimento con fertilización química (2008-2012). 1ª Rotación.

El área inicial del muestreo fue de 2.16 ha. Se siguió un diseño factorial aleatorizado en bloques. El diseño ha considerado tres factores cualitativos: 3 clones de sauces (Bjor, Inger y Olof), 2 densidad de plantación (10.000 y 15.000 plantas ha⁻¹) y 3 tratamiento de fertilización (F0=Control; F1=300 kg ha⁻¹ N-P-K 6:20:12 y 4 l ha⁻¹ Glifosato; F2=600 kg ha⁻¹ N-P-K 6:20:12 y 4 l ha⁻¹ Glifosato). El diseño básico se repitió en tres bloques, con un total de 54 parcelas. Durante finales del invierno del 2008, se procedió directamente a las labores de preparación del terreno; i) subsolado a 0,60 a 1,00 m; ii) alzado completo del terreno con una grada de discos agrícola; iii) pase de rotovator; iv) aplicación fertilización de fondo, 500 kg ha⁻¹ NPK (8:24:16); v) replanteo de parcelas en el terreno; vi) plantación manual de las estaquillas (longitud de 20 cm y diámetro de 1 a 2 cm); vii) control malas hierbas con herbicida.

Descripción del experimento actual con compost Cogersa AERO (2013-2015). 2ª Rotación.

Tras la cosecha de las 54 parcelas en otoño del 2012, solamente se continuó el ensayo con las 18 parcelas del clon Olof, ya que fue la especie que mejor rendimiento y producción reveló al final del primer turno. En esta segunda fase del ensayo el compost se aplicará en tres dosis diferentes (T0, T1, T2, T3) (Tabla 1). Para una adecuada comprensión entre la relación de los niveles de fertilización química y orgánica (compost Cogersa AERO) para diseñar el experimento, hay que tener en cuenta que el nivel de nitrógeno en T1 es equivalente a F1 y T2 es equivalente a F2. La dosis T3 se incluye como una nueva dosis de compost con el fin de analizar la existencia de diferencias significativas en el crecimiento y la producción de biomasa.

Tabla 1. Tratamientos de fertilización aplicados en la segunda rotación en el ensayo de Mozquita.

Año	Dosis de fertilización Mozquita			
	T0 (Control)	T1	T2	T3
	(t ha ⁻¹ Compost COGERSA AERO)			
2013	17,5	10	17,5	25
2014	0	3	5,25	7,5
2015	0	6	10,5	15

- Cogersa

En la primavera de 2013, el ensayo experimental de fertilización se instaló en terrenos naturales (agrícolas abandonados) pertenecientes a COGERSA utilizando cultivos de rotación corta con estaquillas de sauce (clon Olof). Las dosis de compost de 2013 a 2015 se reflejan en la Tabla 2. El procedimiento técnico para instalar el ensayo en Cogersa ha sido similar al realizado en Mozquita indicado anteriormente.

Tabla 2. Tratamientos de fertilización aplicados en la primera rotación en el ensayo de Cogersa.

Año	Dosis de fertilización Cogersa				
	T0 (Control)	T1	T2	T3	T4

		Kg ha ⁻¹ NPK 6:20:12	(t ha ⁻¹ Compost COGERSA AERO)		
2013	17,5	500	10	17,5	25
2014	0	500	3	5,25	7,5
2015	0	500	6	10,5	15

3.3. Mediciones de campo y estimaciones de crecimiento

En cada año después del período vegetativo se midieron varias variables de crecimiento, con el objetivo de evaluar el rendimiento del clon en cada ensayo. Con el fin de evitar el efecto de borde, las mediciones se realizaron en el centro de cada una de las parcelas. Se midieron 20 cepas (vivas o muertas) en cada una de las parcelas del estudio de Mozquita y 15 cepas en las parcelas en el ensayo de Cogersa. Los datos de crecimiento se obtuvieron siguiendo el protocolo descrito por la Comisión Forestal del Reino Unido (FORESTRY COMMISSION, 2003) para la recolección de datos en plantaciones de sauce de corta rotación. Dentro de cada una de las subparcelas, se midieron los diámetros de los brotes a 20 cm ya 130 cm del nivel del suelo (D20 y D130) con un calibre digital, y las alturas totales se midieron con un hipsómetro (Vertex III). El porcentaje de supervivencia también se registró al final de cada periodo vegetativo.

3.4. Análisis estadístico

Se realizó un análisis multifactor de varianza (ANOVA) para cada variable de respuesta (brotes por cepa, altura, diámetro basal y diámetro normal) para comprobar el efecto global en los ensayos. El modelo estándar para el ensayo de Mozquita (Ecuación 1) y el ensayo de Cogersa (Ecuación 2) son los siguientes:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + e_{ij} \quad \text{Ec. 1}$$

$$Y_i = \mu + \alpha_i + e_i \quad \text{Ec. 2}$$

Donde y_{ij} es el valor observado de la variable de respuesta en el ensayo de Mozquita (brotes por cepa, diámetro basal y diámetro normal), considerando un nivel de densidad j y aplicando el tratamiento i ; μ es la media global; α_i y β_j son los efectos de tratamiento y densidad, respectivamente; $(\alpha\beta)_{ij}$, es la interacción bifactorial; y e_{ij} es el error experimental. En el ensayo de Cogersa: y_i es el valor observado de la variable de respuesta en Cogersa (brotes por cepas, diámetro basal y diámetro norma) aplicando el tratamiento i ; μ es la media global; α_i es el efecto del tratamiento y e_i es el error experimental. Cuando se observó un efecto significativo del factor ($\text{Sig.} \leq 0,05$), se utilizó la prueba de rango múltiple de Tukey (HSD) para determinar grupos homogéneos según la similitud de la variable respuesta. Antes de realizar el ANOVA, se analizaron los datos de normalidad y homocedasticidad de los residuos. Los análisis se realizaron utilizando el programa estadístico SPSS 17.0 (SPSS, 17.0).

4. Resultados

4.1 Crecimiento

La interpretación de los resultados por separado de cada factor independientemente de la influencia de los otros, reveló alguna información importante (Tabla 3). Estos resultados se corresponden con el inventario del año 2015. Las diferentes densidades de siembra utilizadas en el ensayo de Mozquita produjeron resultados similares para todas las variables estudiadas. La comparación de los diferentes tratamientos de fertilizantes (T0, T1, T2 y T3 en Mozquita; T1, T2, T3 y T4 en Cogersa) indicó resultados similares para el crecimiento y todos fueron mayores que en las parcelas de control (T0).

Según los resultados que muestra la Tabla 4, solamente fue el factor de tratamiento el que tuvo efectos significativos en el número de brotes por cepa y altura media en el estudio de Mozquita

(Sig.=0,008 y Sig.=0,037, respectivamente); en el caso de Cogersa, fue sólo el factor de tratamiento el que mostró diferencias estadísticamente significativas en relación con la altura (Sig. = 0,047).

Tabla 3. Los valores promedio de las variables de crecimiento (H, D20 y D130) y el número de brotes por cepa, para cada factor estudiado (densidad y tratamiento) para dos ensayos estudiados (Mozquita y Cogersa) en el año 2015.

Ensayo	Factor	Código	Brotos por cepa (n°)	H (m)	D ₂₅ (cm)	D ₁₃₀ (cm).
Mozquita	Densidad	N1	2,790	4,763	2,440	1,840
		N2	2,547	5,003	2,455	1,911
	Tratamiento	T0	2,467	4,180	2,331	1,693
		T1	1,989	4,540	2,386	1,777
		T2	3,014	5,243	2,511	1,965
		T3	3,031	5,119	2,490	1,945
Cogersa	Tratamiento	T0	1,728	4,403	3,256	2,480
		T1	2,000	5,222	3,634	2,695
		T2	2,010	5,391	4,021	2,912
		T3	1,581	5,686	4,304	3,194
		T4	2,600	5,990	4,270	3,212

Tabla 4. Valores F y nivel de significación (Sig) para cada uno de los factores, en Mozquita y Cogersa.

Ensayo	Factor	Variable	F	Sig.
Mozquita	Densidad	Brotos por cepa (n°)	0,715	0,409
		H (m)	0,674	0,422
		D ₂₅ (cm)	0,013	0,910
		D ₁₃₀ (cm)	0,458	0,507
	Tratamiento	Shoots (n°)	5,678	0,008
		H (m)	3,589	0,037
		D ₂₅ (cm)	0,388	0,763
		D ₁₃₀ (cm)	1,543	0,242
Cogersa	Tratamiento	Brotos por cepa (n°)	1,913	0,185
		H (m)	3,555	0,047
		D ₂₅ (cm)	1,511	0,271
		D ₁₃₀ (cm)	1,508	0,272

Tras comprobar cuáles eran las variables que presentaban diferencias (Sig. \leq 0,05), se realizó una comparación múltiple de medias de dichas variables mediante el Test de Tukey's (Tabla 5).

Tabla 5. Comparación múltiple de medias, test de Tukey de las variables significativas en los ensayos de Mozquita y Cogersa

Tratamiento	Mozquita		Cogersa
	Brotos por cepa (n°)	Altura (m)	Altura (m)
T0	2,5 ^{ab}	4,2 ^b	4,4 ^b
T1	2,0 ^b	4,5 ^{ab}	5,2 ^{ab}
T2	3,0 ^a	5,2 ^a	5,4 ^{ab}
T3	3,0 ^a	5,1 ^{ab}	5,7 ^a
T4	-	-	6,0 ^a

Este análisis reveló resultados interesantes, el factor de tratamiento en el ensayo de Mozquita, por un lado respeta dos grupos diferentes de agrupación en relación con el número de brotes por cepa (Tabla 4). La comparación del número medio de brotes por cepa para el factor de tratamiento indicó que los tratamientos T2 y T3 formaron un grupo con una media superior, mientras que el tratamiento T1 formó un grupo homogéneo separado, para el tratamiento T0 el número de brotes por cepa forma un grupo intermedio entre ambos. En lo que respecta a la variable altura en el ensayo de Mozquita (Tabla 4), los tratamientos T2 y T3 formaron un grupo, que difirió significativamente de las

parcelas control (T0), que comprendían un grupo separado, por su parte el tratamiento T1 formó un grupo intermedio entre ambos. En la comparación entre las alturas medias para el estudio de Cogersa llevada a cabo, mostró que los tratamientos se podían separar en dos grupos, por una lado los tratamientos T3 y T4 formaron un grupo con el mayor crecimiento en altura, mientras que los tratamientos T1 y T2 forman un grupo intermedio, por su las parcelas control mostraron valores de crecimiento más bajos, lo que hizo que formara un grupo independiente (Tabla 4).

5. Discusión

Estudios previos afirman que el crecimiento de los clones de sauce y su producción se ve incrementada de forma directa conforme aumenta la densidad de plantación; a altas densidades el número de brotes es mayor, pero las dimensiones de estos son menores (BULLARD et al., 2002). A bajas densidades el número de brotes no se ve influenciado por la falta de competencia entre plantas (BULLARD et al., 2002). En este caso al estar realizando el ensayo con densidades relativamente bajas y a su vez parecidas (Mozquita: 10.000 y 15.000 pies/ha; Cogersa: 8333 pies/ha), respecto a lo ensayado en otros estudios llegando incluso a densidades de 111.000 pies/ha con buenos rendimientos, no era de esperar que la densidad tuviese influencia alguna en el crecimiento. Por lo cual se puede afirmar que las variables estudiadas no se ven influidas por estos factores, y si por el tratamiento de fertilización que se aplique, considerando la densidad de plantación más determinante para el desarrollo del número de brotes que para el crecimiento en altura.

En un estudio de tres especies de sauce en Canadá (LABRECQUE, 1997), se observó que independientemente de la densidad de siembra, los rendimientos mejoraron cuando se aplicó la dosis más alta de compost. Varios estudios en Europa indican el potencial de la aplicación de aguas residuales y lodos procedente de depuradora a SRC, por varias razones, destacando la creciente producción de biomasa (DIMITRIOU & ROSENQVIST, 2011; BÖRJESSON & BERNDEN, 2006). Sin embargo, Holm y Heisso en un estudio realizado en Estonia (HOLM & HEINSOO, 2013) observaron que ni una mayor densidad de plantación, ni una dosis de fertilizante más elevada aplicada en el sistema de riego, aumentaron significativamente el rendimiento de biomasa del cultivo de rotación corta estudiado; en este mismo caso de estudio, el riego con aguas residuales aumentó tanto el número promedio de brotes, así como rendimiento de biomasa significativamente en comparación con parcelas de control, como ocurrió en los dos ensayos que estamos analizando en este artículo.

Como se puede observar no existe mucha diferencia entre los tratamientos de menor dosis de fertilizante (T1) y las parcelas control (T0). Esto puede ser debido a que cuando no se fertiliza el suelo, la planta va utilizando el N disponible en este, desembocando esto en un balance nutricional negativo, pero sin embargo, cuando se aplican tratamientos de fertilización con compost orgánico de liberación lenta (compost Cogersa AERO), dicho balance se volverá positivo en 1-2 años, e irá incorporándose al suelo al no ser capaz de extraer la planta todo lo proporcionado, como indican estudios previos (MORTENSEN et al., 1998).

A la vista de los resultados preliminares en ambos ensayos (2ª Rotación en Mozquita y 1ª Rotación en Cogersa), teniendo en cuenta que los rendimientos de producción del segundo y tercer rebrote son mejores que las producciones iniciales (AYLOTT et al., 2008; LINDEGAARD et al., 2011), se espera que, tras el turno de rotación actual en Cogersa, las producciones y rendimientos en biomasa sean mejores, todo ello de la mano del tratamiento de fertilización adecuado, que de seguir con la tendencia actual es el T4.

Los valores del número de brotes para cada tratamiento, observándose una clara diferencia de los tratamientos T2 y T3 frente a los otros dos tratamientos, sin embargo, entre estos no se observa diferencia alguna, lo que hace indicar que quizás habría que replantear como factor límite la aplicación de una dosis de tratamiento T2 (127 kg N/ha año) ya que a partir de este, no hay respuesta por parte de la planta, consiguiendo con ello aumentar la rentabilidad, tanto en coste de fertilizante como en ahorro de mano de obra, al aplicar una dosis de fertilización menor para obtener los mismos resultados. En estudios llevados a cabo en Dinamarca durante una segunda rotación de clones comerciales de *Salix*, demostraron que los mejores rendimientos obtenidos fueron con 60 kg N/ha, no respondiendo el cultivo a dosis superiores de tratamiento (SEVEL et al., 2014).

6. Conclusiones

Las variables de crecimiento estudiadas en Mozquita durante el tercer ciclo de crecimiento de la segunda rotación (2015), se vieron favorecidas por el tratamiento de fertilización aplicado, siendo los rendimientos más altos cuando la dosis aplicada es superior, hasta el límite del tratamiento T2. Las dosis más altas de fertilizantes suministradas (T3) no mejoran el crecimiento de estas variables, por lo que es necesario esperar hasta el final del turno (otoño 2017) para comprobar si los rendimientos de la producción de biomasa sigue la misma tendencia.

En el caso del ensayo de Cogersa, el crecimiento del clon de sauce empleado, es favorecido por el tratamiento de fertilización aplicado, con los rendimientos más altos cuanto mayor sea la dosis de fertilizante aplicada. El tratamiento T4 presenta en este caso los mayores rendimientos de crecimiento; por lo tanto, en las tierras agrícolas abandonadas donde se incrementa la capacidad de producción del suelo, a priori, se puede considerar que los cultivos energéticos son capaces de desarrollarse mejor y consecuentemente son capaces de responder a una mayor cantidad de aporte de nutrientes.

En la comparación de ambos ensayos se confirmó que número de brotes por cepa en la segunda rotación en Mozquita es mejor que en la primera rotación en Cogersa. En cuanto a la estimación del crecimiento, las tierras agrícolas abandonadas (Cogersa) muestran un mejor rendimiento tanto en altura como en diámetro que en las zonas mineras marginales (Mozquita), aunque es la primera rotación, por lo que la calidad del suelo y la fertilidad del suelo es un factor crítico a considerar si quieren obtener una gran producción para un SRC.

7. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la empresa minera Hunosa y la empresa Cogersa (Gestión de Residuos Sólidos de Asturias). Los autores reconocen la cooperación útil del personal de Hunosa y Cogersa en este estudio. La investigación fue apoyada por la Cátedra Hunosa de la Universidad de Oviedo.

8. Bibliografía

ANALYTICAL SOFTWARE; 2008. Analytical Software Statistix9: User's Manual. Analytical Software, Tallahassee, FL.

ANTUÑA, F.S.; 2005. La organización de los espacios mineros de la hulla en Asturias. *Scripta Nova: revista electrónica de geografía y ciencias sociales*. 9: 2.

ARONSSON, P.; PERTTU K.; 2001. Willow vegetation filters for wastewater treatment and soil remediation combined with biomass production. *J. Forest Chron.* 7(2): 293 – 299.

AYLOTT, M. J.; CASELLA, E.; TUBBY, I.; STREET, N. R.; SMITH, P.; Y TAYLOR, G.; 2008. Yield and spatial supply of bioenergy poplar and willow short-rotation coppice in the UK. *New Phytologist*. 178(2): 358 – 370.

BÖRJESSON, P.; BERNDEN, G.; 2006. The prospects for willow plantations for wastewater treatment in Sweden. *Biomass Bioenerg.* 30, 428 – 438.

BROECKX, L.S.; VERLINDEN, M.S.; CEULEMANS, R.; 2012. Establishment and two-year growth of a bio-energy plantation with fast-growing *Populus* trees in Flanders (Belgium): Effects of genotype and former land use. *Biomass Bioenerg.* 42: 151 – 163.

BULLARD, M. J.; MUSTILL, S. J.; MCMILLAN, S. D.; NIXON, P. M.; CARVER, P.; Y BRITT, C.P.; 2002. Yield improvements through modification of planting density and harvest frequency in short rotation coppice *Salix* spp. Yield response in two morphologically diverse varieties. *Biomass Bioenerg.* 22(1):

15 – 25.

DIMITRIOU, I.; ROSENQVIST, H.; 2011. Sewage sludge and wastewater fertilisation of Short Rotation Coppice (SRC) for increased bioenergy production—biological and economic potential. *Biomass Bioenerg.* 35(2): 835 – 842.

EEA; 2011. Biogeographical regions. European Environment Agency, Copenhagen, Denmark.

FORESTRY COMMISSION; 2003. Mensurational variables protocol. In: Yield Models for Energy Coppice of Poplar and Willow. *Forestry Commission, Ae.*, 14.

GRUENEWALD, H.; BRANDT, B.K.V.; SCHNEIDER, B.U.; BENS, O.; KENDZIA, G.; HÜTTL, R.F.; 2007. Agroforestry systems for the production of woody biomass for energy transformation purposes. *Ecol. Eng.* 29: 319 – 328.

HOLM, B.; HEINSOO, K.; 2013. Municipal wastewater application to short rotation coppice of willows—treatment efficiency and clone response in Estonian case study. *Biomass Bioenerg.* 57: 126 – 135.

JAMA, A.; NOWAK, W.; 2012. Willow (*Salix viminalis* L.) in purifying sewage sludge treated soils. *Polish. Agron.* 9: 3 – 6.

KEOLEIAN, G. A.; VOLK, T. A.; 2005. Renewable Energy from Willow Biomass Crops: Life Cycle Energy, Environmental and Economic Performance, CRC. *Crit. Rev. Plant Sci.* 24: 385 – 406.

KUZOVKINA, Y.A.; QUIGLEY, M.F.; 2005. Willows beyond wetlands: uses of *Salix* L. Species for environmental projects, *Water. Air. Soil Poll.* 162: 183 – 204.

LABRECQUE, M.; TEODORESCU, T.I.; AIGLE, S.; 1997. Biomass productivity and wood energy of *Salix* species after 2 years growth in SRIC fertilized with wastewater sludge. *Biomass Bioenerg.* 12: 409 – 417.

LINDEGAARD, K. N.; CARTER, M. M.; MCCRACKEN, A.; SHIELD, I.; MACALPINE, W.; HINTON-JONES, M.; VALENTINE, J.; LARSSON, S.; 2011. Comparative trials of elite Swedish and UK biomass willow varieties 2001–2010. *Asp Appl Biol.* 112(57): e66.

MORTENSEN, J.; NIELSEN, K. H.; JORGENSEN, U.; 1998. Nitrate leaching during establishment of willow (*Salix viminalis* L.) on two soil types and at two fertilization levels. *Biomass Bioenerg.* 15(6): 457 – 466.

SEVEL, L.; NORD-LARSEN, T.; INGERSLEV, M.; JORGENSEN, U.; RAULUND-RASMUSSEN, K.; 2014. Fertilization of SRC Willow, I: Biomass Production Response. *BioEnergy Res.* 7:319 – 328.

ZURBA, K.; OERTEL, C.; MATSCHULLAT, J.; 2013. CO₂ emissions from willow and poplar short rotation forestry (SRF) on a derelict mining soil.