

06-017

TESTS FOR SORGHUM CROPS FOR IT USE ENERGY IN AGRICULTURAL FARM OF THE CENTER OF SPAIN ZONE.

Mauri Ablanque, Pedro Vicente⁽¹⁾; Plaza Benito, Antonio⁽¹⁾; Bautista Carrascosa, Ines⁽¹⁾

⁽¹⁾IMIDRA

This article describes the methodology used and the progress of work regarding sorghum crops for use as an energy crop appears. The purpose of this communication is to develop an agricultural system on-site energy use of biomass produced from energy crops in central Spain. The project is located in the "Finca El Encín", located in the town of Alcalá de Henares (Madrid), and includes irrigated crops. Current uncertainties about climate change, increasing energy demand, geopolitical instability in countries producing fossil fuels and foreseeable exhaustion of fossil resources have led to intense activity in the field of renewable energies. The energy use of biomass produced in situ in a farm has many advantages, as it would optimize energy demand with the design of production and distribution and logistics, adapting to the energy needs of the same. The origin of this proposal lies in the convergence of two areas of emerging interest: convenience, widely supported, to promote new types of agricultural production that will result in sustainable rural development in Spain, and the need to replace energy demands fossil with renewable energies, based on the benefit of the environment and the socio-economic environment.

Keywords: "energetic crops"; "biomass"; "sustainable crops".

APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO CON ENSAYOS DE SORGO EN UNA FINCA DE LA ZONA CENTRO DE ESPAÑA.

En este artículo se presenta la metodología utilizada y el progreso del trabajo respecto a los cultivos de sorgo para utilizarlo como un cultivo energético. El objeto de esta comunicación es el desarrollo de un sistema agrícola de aprovechamiento energético in situ de la biomasa producida a partir de cultivos energéticos en el centro de España. El proyecto se ubica en la Finca El Encín, situada en el municipio de Alcalá de Henares (Madrid), y comprende cultivos de regadío. Las incertidumbres actuales sobre el cambio climático, aumento de la demanda de energía, inestabilidad geopolítica de los países productores de combustibles fósiles y previsible agotamiento de los recursos fósiles han propiciado una intensa actividad en el campo de las energías renovables. El origen de la presente propuesta radica en la convergencia de dos áreas de interés emergente: la conveniencia, ampliamente apoyada, de promover nuevos tipos de producción agraria que redunden en el desarrollo rural sostenible de España, y la necesidad de la sustitución de demandas de energía fósil con energías renovables, fundamentada en el beneficio del medio ambiente y el entorno socioeconómico.

Palabras clave: "Cultivos energéticos"; "Biomasa"; "Cultivos sostenibles".

Correspondencia: Pedro V. Mauri pedro.mauri@madrid.org



©2018 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción.

En el Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural, Agrario y Alimentario (IMIDRA) en la Finca El Encín se han realizado ensayos de distintas variedades de sorgo con el objetivo de evaluar la adaptación de nuevas variedades en la Comunidad de Madrid desde el punto de vista productivo fundamentalmente. Los cultivos de biomasa han sido intensamente estudiados en los últimos años, desde el cambio de política agrícola de la Unión Europea, que incluye un creciente interés por los materiales renovables y una política de compromiso para controlar las emisiones de CO₂. (Vasukajiglou *et al.*, (2011)).

En la actualidad, y debido principalmente a los precios del crudo y a su inestabilidad, la energía procedente de la biomasa y en el caso del sorgo, los cultivos energéticos, se sitúan día a día en el punto de mira para la producción de energía eléctrica, sobre todo para intentar la producción endógena, cuando se realiza un cultivo para obtener biomasa transformable en energía, el balance energético tiene una importancia fundamental. Un cultivo energético tiene que presentar como principal característica un balance energético positivo, es decir, debe producir más energía que la que se consume en su cultivo y recolección, sin contabilizar la energía solar que utiliza. (Picco *et al.*, (2011)).

Actualmente, en Madrid, uno de los cultivos en regadío más interesante para la producción de calor y/o electricidad es el sorgo (*Sorghum bicolor*), que presenta balance energético positivo.

La sostenibilidad económica es uno de los factores clave para el desarrollo efectivo de los cultivos energéticos, aunque debemos tener en cuenta determinadas ventajas de estos:

- Recurso renovable en periodos cortos de tiempo.
- No favorecen el efecto invernadero.
- Canalización de excedentes agrícolas alimentarios.
- Posibilidad de reducción de gastos en la producción con destino biomasa.

En este artículo hacemos un balance de los resultados obtenidos en una experimentación del IMIDRA.

El sorgo grano es el cuarto cereal en importancia mundial. Actualmente se siembran más de 40 millones de hectáreas en la franja comprendida entre los 50º latitud norte y 50º latitud sur. Los principales países productores son: India, Nigeria, USA, Sudán, México y Argentina, siendo este cultivo de gran importancia en países en vías de desarrollo de África, Asia y Latinoamérica.

El consumo mundial de sorgo para la alimentación humana se ha mantenido estancado durante los 35 últimos años en contraste con el consumo alimentario total de todos los cereales, que ha subido considerablemente a lo largo del mismo período. Este estancamiento se ha verificado pese a que bajo el aspecto nutricional el sorgo sale bien parado en comparación con otros cereales, sobre todo al ser considerado en muchos países como un grano de categoría inferior. El consumo de sorgo per cápita es elevado en países o en algunas regiones de esos países donde el clima no permite la producción económica de otros cereales y donde los ingresos per cápita son relativamente bajos (Janssen *et al.*, (2010)).

El sorgo como cultivo doméstico llegó a Europa aproximadamente hacia el año 60 d. C. pero nunca se extendió mucho en este continente. No se sabe cuándo se introdujo la

planta por primera vez en América. Las primeras semillas probablemente se llevaron al hemisferio Occidental en barcos de esclavos procedentes de África.

Los primeros sorgos dejaban mucho que desear como cultivo de grano, eran muy altos y, por lo tanto, susceptibles al encamado y difíciles de cosechar. Además, maduraban muy tarde. El desarrollo posterior de tipos precoces, así como de variedades resistentes a enfermedades e insectos, junto con la mejora de otras prácticas de producción, estableció firmemente el sorgo grano como un importante cultivo (Barbanti *et al.*, (2006)). El proceso más trascendental, sin embargo, aún no había llegado. Los híbridos se hicieron realidad hacia el año 1950 y actualmente los rendimientos alcanzan más de 13 440 kg · ha⁻¹ en los sorgos grano híbridos (Braconnier *et al.*, (2011)).

Es de la Familia: Poaceae; especies: *Sorghum vulgare* L. y *Andropogum sorghum sudanensis*. Su porte de la planta de sorgo tiene una altura de 1 a 2 m. El sistema radicular: puede llegar en terrenos permeables a 2 m de profundidad. Tiene tres clases de raíces, laterales, adventicias y aéreas. El **Tallo**: también llamado caña, es compacto, a veces esponjoso, con nudos engrosados. Puede originar macollos (unidad estructural de la mayoría de las especies de gramíneas. Se forman a partir de las yemas axilares o secundarias del meristemo basal del eje principal), de maduración más tardía que el tallo principal. La presencia de macollos es varietal y está influenciada por la fertilidad, las condiciones hídricas y la densidad. Las **Hojas**: se desarrollan entre 7 y 24 hojas dependiendo de la variedad, alternas, opuestas, de forma linear lanceolada, la nervadura media es blanquecina o amarilla en los sorgos de médula seca y verde en los de médula jugosa. Tiene lígula en la mayoría de los casos. El borde de las hojas presenta dientes curvos, filosos y numerosas células motoras ubicadas cerca de la nervadura central del haz facilitando el arrollamiento de la lámina durante periodos de sequía. Presenta **inflorescencias** en panojas compactas, semicompactas o semilaxas, con espiguillas que nacen a pares, una fértil y la otra estéril. Y las **semillas** esféricas y oblongas de 3 mm, de color negro, rojizo y amarillento.

El bioetanol de primera generación producido a partir de sorgo dulce presenta una alta sostenibilidad ambiental, económica y energética: se atribuye un ahorro de gases de efecto invernadero de 70-71%, la sencillez técnica de la transformación y el aprovechamiento de los subproductos garantiza la viabilidad económica también para plantas descentralizadas a pequeña y mediana escala (máximo 15.000 t·año⁻¹) y su proporción de energía es 1,7-7,3 veces a la consumida en todo el proceso. La situación actual del mercado de bioetanol en la UE está en manos de grandes grupos industriales y grandes cooperativas agrícolas, asociadas a las industrias del azúcar y del alcohol y principalmente a los cereales, procesándose en plantas de gran capacidad (100.000-200.000 t·año⁻¹). (Picco *et al.*, 2011). Esta situación se debe a algunas barreras importantes: económicas, logísticas, ecológicas, ambientales, sociales y de difusión. El proyecto SWEETHANOL, financiado por el programa Energía Inteligente de la Comisión Europea, tenía como principal objetivo cambiar la situación actual relativa a la diversificación de las materias primas, la descentralización y la sostenibilidad del bioetanol de 1ª generación a partir de sorgo dulce, que se puede cultivar en las regiones meridionales de la UE. Esta producción de bioetanol puede ser complementaria con la obtención de bioetanol de segunda generación y biogás a partir de los tallos de sorgo dulce y sorgo biomasa. El equipo investigador del CICYTEX colaboró en la difusión del proyecto Sweethanol en 2 jornadas de difusión celebradas en Extremadura. El proyecto europeo SWEETHANOL es un Proyecto financiado y apoyado por la Comisión Europea en el ámbito del programa IEEDII 2009 (Intelligent Energy Europe), acción "ALTENER" – Fuentes de Energías Renovables, en el que han intervenido equipos de investigación de Italia, que lideraba el proyecto, Grecia y España. En concreto, C.E.T.A. – Centro para la Ecología Teórica y Aplicada – Italia, Fundación CARTIF – Centro Tecnológico – España, REACM– Agencia

regional de energía de Macedonia Central – Anatoliki S.A. –Grecia, INIPA- Coldiretti – Italia, ADABE – Asociación para la Difusión de la Biomasa –España, y Cooperativa Agrícola de Halastra – Grecia. La bibliografía existente sobre sorgo dulce y biomasa es muy amplia, ya que ha sido y es estudiado debido a su alto potencial productivo por diferentes grupos de investigación europeos.

El sorgo dulce y el sorgo biomasa (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) son cultivos que se pueden destinar a su aprovechamiento energético en el Sur de Europa (Di Candilo *et al.*, 2010), donde se obtienen rendimientos en biomasa de 30 toneladas de materia seca por hectárea. En Extremadura, dentro de un proyecto POCTEP, Programa de Cooperación Transfronteriza España Portugal, denominado Agrispos, se ha estudiado la productividad de distintas variedades de sorgo dulce y biomasa, confirmando los rendimientos mencionados anteriormente, y se han realizado las primeras pruebas de extracción del jugo azucarado de sus tallos en prensa (Curt *et al.*, 2000). Se dispone de material vegetal de varias casas comerciales y de variedades procedentes de Estados Unidos.

El sorgo dulce es una planta C₄. Entre otras particularidades, las plantas C₄ tienen una anatomía foliar característica, conocida como “Anatomía de Kranz”, que confiere una especial separación entre la fijación fotosintética del CO₂ y la síntesis de asimilados – compuestos producidos por la planta como consecuencia de la fotosíntesis y que son los responsables del crecimiento de la planta-. Esta compartimentalización permite un gran aprovechamiento de la radiación solar y una alta eficiencia fotosintética en comparación con los cultivos C₃, más comunes en las regiones templadas del planeta. La tasa de asimilación fotosintética es de particular importancia en condiciones de alta radiación solar y disponibilidad hídrica. Los estudios realizados sobre la eficiencia en el uso de la radiación (EUR) del sorgo dulce llevado a cabo en el Sur de Europa, han demostrado su alta eficiencia, lo que explica la gran productividad de este cultivo cuando se desarrolla en condiciones favorables (temperatura, radiación solar y suministro de agua). Se han obtenido valores entre 3.10 en Francia y 4.96 en España. El rendimiento de biomasa del sorgo dulce cultivado bajo condiciones no limitantes de agua en climas Mediterráneos templados se encuentra entre 25-35 t m.s. ha⁻¹. Asumiendo que la proporción de tallos es del 75-80% (en materia seca), un 40% de contenido en azúcar, y considerando 0.531 L etanol.kg⁻¹ como factor de conversión del azúcar a etanol, la producción de etanol a partir de sorgo dulce puede alcanzar los 4.400–7.000 l·ha⁻¹.

El sorgo dulce puede desarrollarse en un rango amplio de suelos y climas (zonas tropicales, subtropicales y templadas) (Saita *et al.*, 2011). A pesar de que los mejores rendimientos se obtienen en suelos fértiles, profundos y bien drenados, también puede ser cultivado en peores condiciones, como en suelos de poca profundidad y con bajo contenido en materia orgánica. El rango de pH de los suelos donde se cultiva el sorgo es también amplio (5.0-8.5) (Janssen *et al.*, 2010). El sorgo dulce es resistente a la sequía (tiene elevada resistencia al estrés hídrico) (Mastrorilli *et al.*, 2011) y comparado con otros cultivos tropicales, es tolerante al encharcamiento y muestra buena adaptación a suelos salinos y alcalinos (Mastrorilli *et al.*, 1999). Esta amplia adaptabilidad permite al sorgo dulce crecer donde otros cultivos no pueden cultivarse. En lo que respecta a los requerimientos hídricos, bajo condiciones de clima Mediterráneo, el sorgo dulce requiere regadío, aunque tiene una elevada eficiencia en el uso del agua. En España se han obtenido valores entre 3.7 y 5.4 g de biomasa aérea (en base seca) por litro de agua. El sorgo dulce presenta mayor resistencia a la sequía (Yang *et al.*, 1990) que el maíz o la caña de azúcar (baja evapotranspiración y capacidad para detener la transpiración si la disponibilidad de agua es limitada) (Rao *et al.*, 2010) por lo que requiere menos agua por unidad de etanol producida. La cantidad de agua requerida por el sorgo dulce es sólo de 1/3 de la demandada por la caña de azúcar y casi de 2/3 de la remolacha azucarera (Barbanti *et al.*, 2006). Además, el sorgo dulce tiene unos requerimientos de nitrógeno relativamente bajos en comparación con otros cultivos.

A pesar de que el sorgo dulce es un cultivo interesante para producir bioetanol incluso en climas templados, no se han realizado grandes avances en la penetración de este cultivo en España (Curt et al., 1995). Una de las razones es que el periodo de tiempo comprendido entre la cosecha y el procesado debe ser muy corto. El contenido de humedad en la cosecha es muy alto (70-80%). Tras el corte o el picado, se produce la pérdida de azúcares. La degradación del azúcar (fermentaciones indeseadas) se dispara rápidamente porque a la humedad de la biomasa se le suma la alta concentración de los azúcares fácilmente fermentables. Para prevenir las fermentaciones, el sorgo dulce debe ser recolectado y procesado en planta lo más rápidamente posible. En climas templados (como el Mediterráneo) el periodo de cosecha se acorta por el hecho de que si se retrasa, las condiciones climáticas pueden empeorar y pueden surgir daños debidos al frío, encamado o pérdidas de azúcar. En otras palabras, el problema es el gran impacto de la estacionalidad del cultivo en el producto y el procesado industrial. Se sugieren diversas medidas para prevenir los problemas anteriormente mencionados. Una de ellas es cultivar variedades con diferentes ciclos de desarrollo (variedades de ciclo corto o largo) o combinar diferentes cultivos azucareros que ayuden a alargar la cosecha y el periodo de procesado; objetivo de nuestra experiencia. Otra medida es extraer y conservar el jugo de los azúcares del tallo para la fermentación. Además, se recomienda utilizar el bagazo como materia prima para producción de bioetanol de segunda generación y/o biogás.

Puede ser un cultivo fitorremediador como existe alguna referencia bibliográfica (Alaie et al., 2009) (Vamerali et al., 2010). Analizaremos el ciclo de vida para ver si medioambientalmente es viable el cultivo en trabajos posteriores (Di Candilo et al., 2010).

2. Objetivos

En este proyecto que fue realizado en el IMIDRA se desarrollaron una serie de objetivos específicos:

- Evaluar la producción de sorgo dulce y biomasa en distintas localizaciones de Madrid.
- Evaluar la producción de sorgo dulce y biomasa de las variedades seleccionadas con aplicación de lodos de depuradora.
- Seleccionar las variedades de sorgo dulce y biomasa que mejor se adapten agrónomica y productivamente a los procesos de digestión anaerobia y de obtención de bioetanol en las regiones establecidas. Para ello, se han realizado ensayos de variedades (entre 10 y 14 variedades) y de densidad de siembra (entre 90.000 y 300.000 plantas por hectárea).
- Diseño óptimo de la recogida y logística del cultivo.
- Realizar ensilados y microensilados de sorgo dulce y biomasa que permitan la correcta conservación del mismo.
- Conseguir la máxima cantidad de jugo procedente de sorgo dulce mediante extracción por presión.
- Primeras experiencias de obtención de bioetanol de segunda generación. Los mejores resultados conseguidos serán trasladados a plantas piloto de biogás y bioetanol.

En primer lugar, se procederá a determinar el material vegetal existente procedente de casas comerciales, tanto de sorgo dulce como de sorgo biomasa (el sorgo biomasa tiene concentraciones menores de azúcares en los tallos). El número de variedades a seleccionar

estará entre 10 y 14 para el primer año del proyecto, que es el que presentamos en este congreso. En función de los resultados obtenidos se diseñarán los ensayos de los años siguientes. Para establecer la densidad de siembra más adecuada se ensayarán diferentes densidades de siembra, entre 90.000 y 300.000 plantas por hectárea.

Los ensayos de cultivo se han realizado en parcelas de tamaño variable (desde 1.500 a 3.500 m², en un total de 3 ha), con 11 variedades de sorgo de distintos usos. El ensayo se ha sembrado en la finca El Encín, (603 m de altitud sobre el nivel del mar, 40°31'7"N latitud, 3°18'25"W longitud), perteneciente al Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural, Agrario y Alimentario, de la Comunidad de Madrid; en un suelo de textura franca gruesa. Se trata de una zona con una pluviometría media anual inferior a 450 mm, por lo que se considera seco árido (Índice de Lang) o semiárido (Índice de humedad) en zona templada (Mauri *et al.*, 2000).

3. Metodología. Caso de estudio.

a. Características de los ensayos: Siembra

La siembra se realizó el día 2 de junio de 2015, con sembradora neumática.

Previamente se realizaron las siguientes labores y tratamientos:

- Cultivo anterior: barbecho.
- Abonado orgánico de estiércol (18,4 Tn·ha⁻¹): noviembre 2014
- Pase de cultivador: febrero 2015 y 16 abril 2015
- Riego: 15 mayo 2015
- Abonado NPK 9-18-27 (400 Kg·ha⁻¹), pase de gradas y pase de vibrocultor: 18 mayo 2015
- Se abonó en cobertera con nitrato amónico cálcico de 27 % N en una cantidad de 250 Kg·ha⁻¹

El marco de plantación es 0,73 x 0,133 metros (103.000 semillas·ha⁻¹).

La siembra se realizó con sembradora de chorrillo con una separación entre filas de 30-35 cm. En presiembra se aplicaron 400 kg ha⁻¹ de un abono de riqueza N-P-K 9-18-27 y en cobertera 60 unidades fertilizantes de nitrógeno cuando las plantas tenían 30-40 cm de altura. El control de malas hierbas se efectuó mediante tratamiento herbicida en presiembra con acetacloro+terbutilazina. Se dan los riegos necesarios para un buen desarrollo del cultivo, contabilizando número de riegos y volumen de agua aportado.

Para evaluar el rendimiento se realizaron dos muestreos, uno a finales de agosto y otro en la segunda quincena de septiembre. Se determina el peso fresco de cada parcela elemental recogiendo toda la biomasa aérea. Se comprueba el efecto borde en las parcelas, eliminando el primer metro de cada parcela para su evaluación productiva en el caso que sea necesario. En cada fecha se toma una muestra representativa de cada parcela para determinar materia seca en estufa de desecación.

El ensayo consta de once variedades de sorgo: 4 variedades azucareras, 4 variedades forrajeras y 3 variedades para biomasa. La nascencia ha sido buena, con un buen control de malas hierbas y desarrollándose el cultivo con normalidad.

b. Riegos

El método de riego utilizado ha sido un sistema de riego por aspersión con pivote central, con un total de 25 aspersores distanciados entre sí 3 metros. Cada aspersor riega 2 m³ a la hora. El riego de toda la superficie es de 50 m³ a la hora.

El riego diario ha sido de 250 m³ (5 horas al día), con un total de 20.500 m³ en todo el periodo estival.

El primer riego se realizó el 2 de junio y el último el 27 de octubre; con un consumo de 6.833 m³ por hectárea.

4. Resultados

a. Producción

Entre los días 27 de noviembre y 3 de diciembre de 2015 se muestreó el ensayo, obteniéndose los siguientes resultados, con las 11 variedades ensayadas (4 azucarero; 4 forrajero y 3 para biomasa):

Tabla 1: Producciones y datos morfológicos de distintas variedades de sorgo.

VARIEDAD	USO	Altura Media	Diámetro medio	% Materia seca	Peso fresco/ha	Peso seco/ha
		(m)	(mm)	(%)	(Kg·ha ⁻¹)	(Kg·ha ⁻¹)
36126	Azucarero	1,87	19,65	31,1%	100.800	31.360 ^c
36111		1,77	18,14	37,7%	91.000	34.300 ^c
3691 (1)		1,86	20,46	33,5%	104.000	34.840 ^c
3691 (2)		1,82	16,17	33,9%	104.400	35.380 ^c
54126		2,77	20,14	33,6%	165.000	55.440 ^d
Digestivo	Forrajero	1,82	17,24	32,2%	45.000	14.500 ^a
Néctar		1,72	16,44	38,2%	77.000	29.400 ^{bc}
Aneto		2,47	14,61	33,1%	104.000	34.400 ^c
Teide		2,85	23,21	25,6%	134.400	34.440 ^c
Pampa Verde BMR6	Biomasa	2,09	16,92	28,3%	112.800	31.960 ^{bc}
Pampa Triunfo XLT		2,77	18,06	36,9%	128.000	47.200 ^d
Pampa Centurión		2,10	19,75	32,9%	81.600	26.880 ^b

Test de Duncan para comparación de medias en rendimiento de variedades en peso seco, misma letra

Tabla 2: Medidas de Grados Brix en variedades de sorgo.

VARIEDAD	USO	Grados Brix
		(°Bx)
36126	Azucarero	14,60
36111		14,93
3691 (1)		17,03
3691 (2)		17,93
54126		16,77
Digestivo	Forrajero	13,13
Néctar		14,33
Aneto		16,73
Teide		11,07
Pampa Verde BMR6	Biomasa	14,07
Pampa Triunfo XLT		16,97
Pampa Centurión		12,70

En la **Tabla 1** se recogen los datos de variables agronómicas como los datos de altura, diámetro, materia seca, peso seco y peso húmedo. No han existido problemas de enfermedades ni plagas en el cultivo, tampoco se han observado variedades con plantas encamadas.

b. Variabilidad de la Floración

A continuación, se presentan datos de floración, medidos entre el 18 de agosto y el 1 de octubre:

Tabla 3: Datos de floración en variedades de sorgo.

VARIEDAD	USO	FLORACIÓN	
		ÉPOCA	SINCRONISMO
36126	Azucarero	Tardía (octubre)	-
36111		Tardía (octubre)	NO
3691(1)		Media (septiembre)	NO
3691(2)		Tardía (octubre)	SÍ
54126		Media (septiembre)	NO
Digestivo	Forrajero	Temprana (agosto)	SÍ
Néctar		Temprana (agosto)	SÍ
Aneto		Media (septiembre)	SÍ
Teide		Tardía (octubre)	NO
Pampa Verde BMR6	Biomasa	Tardía (octubre)	-
Pampa Triunfo XLT		Temprana (agosto)	SÍ

Pampa Centurión		Media (Septiembre)	Sí
-----------------	--	--------------------	----

5. Conclusiones

Tras la realización de este ensayo con sorgo, se enumeran las conclusiones obtenidas:

- Puede ser un cultivo energético de pocas necesidades de agua y de nutrientes. (Consentino *et al.*, 1996). (Curt *et al.*, 1998).
- Buena producción de algunas variedades en la zona centro de España (Curt *et al.*, 1996). En nuestro ensayo existen diferencias significativas con las variedades 54126 de sorgo azucarero; en el forrajero solo existe uno con muy poca producción que es el digestivo y por último en los sorgos para biomasa el Pampa Triunfo XLT produce con diferencias significativas al resto.
- Floración diversa en la zona ensayada (desde temprana, media, tardía), para tener posibilidades de una secuenciación del cultivo. (Di Candilo *et al.*, 2011). La hemos comprobado en nuestras latitudes.
- Es una buena rotación de cultivos dentro de los cultivos con pocas necesidades de agua y de fertilización.

El origen de la presente propuesta radica en la convergencia de dos áreas de interés emergente: la conveniencia, ampliamente apoyada, de promover nuevos tipos de producción agraria que redunden en el desarrollo rural sostenible de España, y la necesidad de la sustitución de demandas de energía fósil con energías renovables, fundamentada en el beneficio del medio ambiente y el entorno socioeconómico.

6. Bibliografía

- Alaie, E., Vakili, F., Sharif, A.A.M. Phytoremediation of Phenanthrene from soil by Sorghum. (2009) www.sid.ir.
- Barbanti, L; Grandi, S; Vecchi, A; Venturi, G. Sweet and fiber sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) energy crops in the frame of environmental protection from excessive nitrogen loads. (2006). European Journal of Agronomy, 25, 30-39.
- Braconnier, S; Gutjhard, S; Trouche, G; Reddy, B; Rao, S; Schaffet, R; Parella, R; Zacharias, A; Rettenmaier, N; Reinhardt, G; Monti, A; Amaducci, S; Marocco, A; Snijman, W; Terblanche, H; Zavala-Garcia, F; Janssen, R; Rutz, D. Definition of new sorghum ideotypes to meet the increasing demand of biofuels. 19th European Biomass Conference and Exhibition, 2011. 782-786. Sweethanol European Project. 2011 Early Manual. CETA. Italy. 58 pp.
- Consentino, S.L. Crop physiology of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in relation to water and nitrose stress. Proceedings of the First European Seminar on Sorghum, Tolosa, 1996, 30.
- Curt, M.D; Fernández, J; Martínez, M. Productivity and water use efficiency of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cv. "Keller" in relation to water regime. (1995). Biomass and Bioenergy, 8, 6, 401-409.

- Curt, M.D; Fernández, J; Martínez, M. Productivity and radiation use efficiency of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cv. “Keller” in central Spain. (1998). *Biomass and Bioenergy*, 14, 2, 169-178.
- Curt, M.D; Fernández, J; Olalla, L; González, J. Summary of 5 year varietal experimentation on sweet sorghum in Spain. First European Seminar on Sorghum for Energy and Industry, 1996. 300-306.
- Curt, M.D; Fernández, J; González, J; Gil, J.L. Comparative growth analysis of two sorghum cultivars in Badajoz (Spain). 1st World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. 2000. 1877-1880.
- Di Candilo, M; Ceotto, E; Del Gatto, A; Mangoni, L; Pieri, S; Diozzi, M. Valutazione delle caratteristiche produttive ed energetico-qualitative di varietà di sorgo da fibra e da zucchero in ambienti del Centro-nord Italia. *Dal seme*, 3, 2010, 46.
- Di Candilo, M; Ceotto, E. Biomass yield of sweet and fiber sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) under nine combinations of sowing and harvest timing. 19th European Biomass Conference and Exhibition. 2011. 634-638.
- European Union. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of Energy from renewable sources.
- Janssen, R; Rutz, D; Braconnier, S; Reddy, B; Rao, S; Schaffert, R; Parella, R; Zaccharias, A; Rettenmaier, N; Reinhardt, G; Monti, A; Amaducci, S; Marocco, A; Sijman, W; Terblanche, H; Zavala-Garcia, F. Sweet sorghum- An alternative Energy crop. (2010). 18th European Biomass Conference. 200-206.
- Mastorilli, M; Katerji, N; Rana, G. Productivity and water use efficiency of sweet sorghum affected by soil water deficit occurring at different vegetative growth stages.(1999). *European Journal of Agronomy*, 11. 207-215.
- Mastorilli, M; Campi, P; Palumbo, A.D; Navarro, A; Modugno, F; Turci, V. Water use efficiency of sorghum cultivated for Energy in mediterranean environments. (2011). 19th European Biomass Conference. 565-568.
- Mauri, P.V. (Coord.) “El Encín”. *Clima, suelo y Vegetación*. Consejería de Medio Ambiente. Comunidad de Madrid. ISBN 84-451-1865-X. (2000).
- Picco, D; Pin, M; Vecchiet, A; Balducci, R; Di Natale, G; Piscioneri, I; Fornasier, F. Sweet sorghum: integrated bioethanol and biogas production from a high water use efficient energy crop. 19th European Biomass Conference and Exhibition, 2011.1905-1912.
- Rao, P.S; Reddy, P.S; Rao, K.L; Reddy, B.V.S; Braconnier, S. Identification of mid-season moisture stress tolerant sweet sorghum material. (2010). National seminar on millets. India.
- Saita, A.A; Scalici, G; Consentino, S.L; Scandurra, S. The cultivation of sweet and fiber sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in Mediterranean environment. 19th European Biomass Conference and Exhibition, 2011, 787-790.
- Vamerali, T., Bandiera, M. and Mosca, G. Field crops for phytoremediation of metal-contaminated land. A review. *Environ. Chem Lett* (2010) 8:1:17.
- Vasilakoglou, I; Dhima, K; Karagiannidis, N; Gatsis, T. Sweet sorghum productivity for biofuels under increase soil salinity and reduced irrigation. (2011). *Field Crops Research*, 120, 38-46.
- Yang, Y.W; Newton, R.J; Miller, F.R. Salinity tolerance in Sorghum. I. Whole plant response to sodium chloride in *S. bicolor* and *S. halepense*. *Crop Science*, 30, 1990, 775.