

GA 1724

Centro de Investigación Agraria La Orden-Valdesequera

**'BIOCOMBUSTIBLES. CRISIS ENERGÉTICA. OPORTUNIDADES DE NEGOCIO'**  
26-27 Noviembre 2008

**Producción de cultivos energéticos lignocelulósicos para clima Mediterráneo**

M<sup>a</sup> Dolores Curt  
Grupo de Agroenergética  
Dp. Producción Vegetal: Botánica y Protección Vegetal  
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID-UPM

1/44

GA 1724

Producción de cultivos energéticos lignocelulósicos para clima Mediterráneo

**ÍNDICE**

1. INTRODUCCIÓN: IDEOTIPO Y ENTORNO
2. CULTIVOS LIGNOCELULÓSICOS HERBÁCEOS
3. CULTIVOS LIGNOCELULÓSICOS LEÑOSOS
4. RESUMEN Y CONCLUSIONES

2/44

GA 1724

**IDEOTIPO DE CULTIVO ENERGÉTICO**

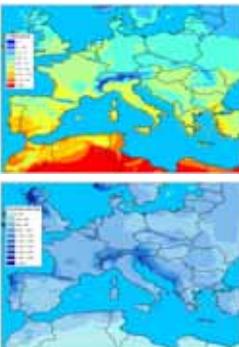
- **Alto potencial productivo**
- **Balance energético positivo**
- **Adaptación a las condiciones medioambientales locales** → Resistente a estrés abiótico (agua, sal, caliza, temperatura)
- **Resistente a estrés biótico** (enfermedades, plagas)
- **Características apropiadas para su uso final energético**
- **Respetuoso con el medio ambiente** → cumplimiento de criterios de sostenibilidad
- **Balance económico positivo**

3/44

GA 1724

**CLIMAS MEDITERRÁNEOS**

- **Período de crecimiento coincide con el período seco** → secano vs. regadío
- **Temperaturas altas en verano y bajas en invierno** → adaptación.
- **Precipitación baja (<300-700 mm); escasez hídrica** → Selección por WUE.
- **Producción primaria baja en relación a otras zonas del mundo**
- **Condiciones de suelo limitantes:** ↓OM, costra caliza, salinidad, ↑erosión, ...
- **Sostenibilidad y Biodiversidad:** áreas protegidas, flora & fauna endémica, especies alóctonas, especies invasivas, turberas ...



4/44

GA 1724

**CLASIFICACIÓN de cult. energéticos**

- Según su uso final:  
Biocarburantes, biomasa...
- Según su composición:  
Azucareros, oleaginosos, lignocelulósicos
- Según el grado tecnológico de conversión:  
1ª generación, 2ª generación
- Según el grado de desarrollo:  
Convencionales, alternativos.

**Cultivos tradicionales ↔ Cultivos consolidados**

- ▶ Amplio espectro de variedades disponible
- ▶ Fitotecnia conocida
- ▶ Maquinaria agrícola desarrollada
- ▶ Mercado establecido

**Cultivos alternativos ↔ Nuevos cultivos**

- ▶ Mejora genética por desarrollar
- ▶ Técnicas de cultivo no puestas a punto
- ▶ Ausencia de maquinaria apropiada
- ▶ Dificultad de penetración en el mercado ...

5/44

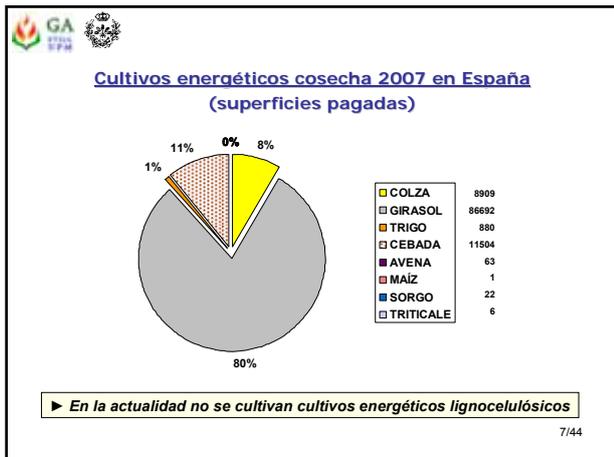
GA 1724

**CULTIVOS ENERGÉTICOS s/composición**

```

    graph TD
      Root[CULTIVOS ENERGÉTICOS s/composición] --> A[AZUCARADOS Y AMILÁCEOS]
      Root --> B[LIGNOCELULÓSICOS]
      Root --> C[OLEAGINOSOS]
      
      A --> A1[VÍA BIOQUÍMICA]
      B --> B1[VÍA TERMOQUÍMICA]
      C --> C1[EXTRACCIÓN ACEITE]
      
      A1 --> A1_1[ALMIDÓN, AZÚCAR, INULINA]
      A1 --> A1_2[FERMENTACIÓN]
      A1 --> A1_3[DESTILACIÓN]
      A1_1 --> A1_2 --> A1_3 --> A1_4[BIOETANOL]
      
      B1 --> B1_1[CELULOSA & HEMICELULOSAS]
      B1 --> B1_2[BIOMASA (PRE-TRAT.)]
      B1_1 --> B1_3[PRE-TRAT. HIDROLISIS]
      B1_2 --> B1_4[PIRÓLISIS]
      B1_2 --> B1_5[GASIFICACIÓN]
      B1_2 --> B1_6[COMBUSTIÓN]
      
      B1_3 --> B1_3_1[ETANOL CELULÓSICO]
      B1_4 --> B1_4_1[BIO-ACEITES]
      B1_5 --> B1_5_1[SYNGAS]
      B1_6 --> B1_6_1[CALOR]
      
      B1_4_1 --> B1_4_2[BTL/DME]
      B1_5_1 --> B1_5_2[ELECTRICIDAD]
      
      C1 --> C1_1[ACEITE]
      C1 --> C1_2[ESTERIFICACIÓN]
      C1_1 --> C1_2 --> C1_3[BIODIESEL (FAME)]
      
      A1_4 -.-> B1_3
      B1_3_1 -.-> B1_4_1
      B1_4_1 -.-> B1_5_1
      B1_5_1 -.-> B1_6_1
  
```

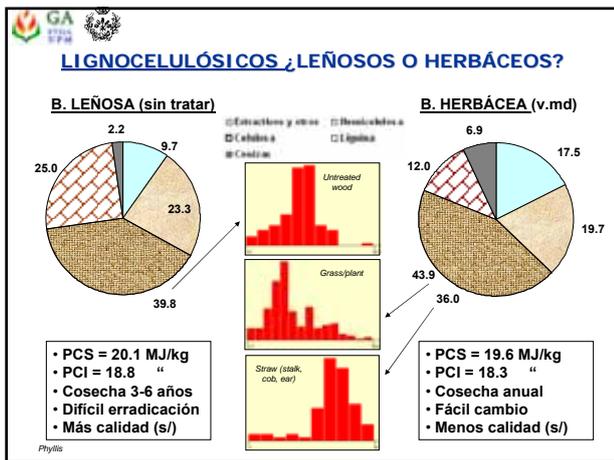
6/44



**Cultivos energéticos alternativos en el Mediterráneo**

Regadío	Secano
<ul style="list-style-type: none"> <li>Azucareros: sorgo azucarero</li> <li>Amiláceos: patata</li> <li>Oleaginosos: jatrofa (?)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Azucareros(p/): chumbera</li> <li>Amiláceos: patata (s/)</li> <li>Oleaginosos: cynara, carinata</li> </ul>
<p><b>Lignocelulósicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Herbáceas perennes: arundo, switchgrass, miscanto</li> <li>Cultivos leñosos en corta rotación: chopo, paulownia.</li> </ul>	<p><b>Lignocelulósicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Herbáceas perennes: cynara, arundo (s/), cereales para biomasa</li> <li>Cultivos leñosos en corta rotación: olmo de Siberia</li> </ul>

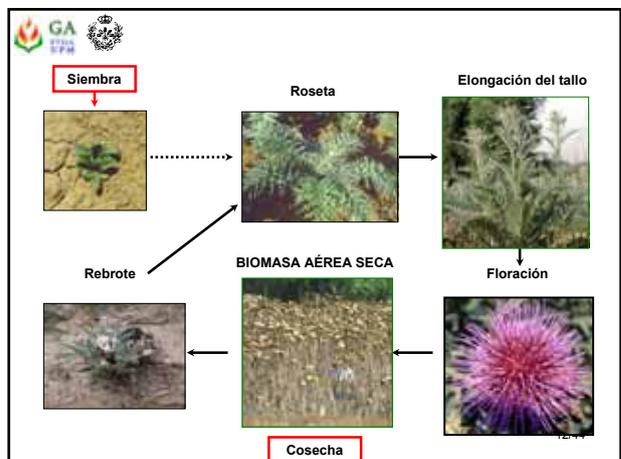
8/44



*Producción de cultivos energéticos lignocelulósicos para clima Mediterráneo*

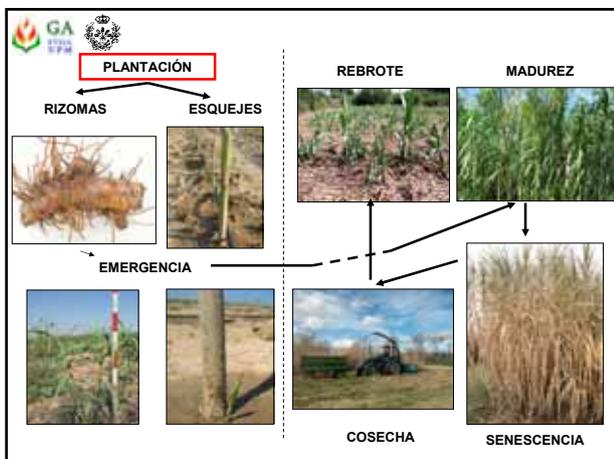
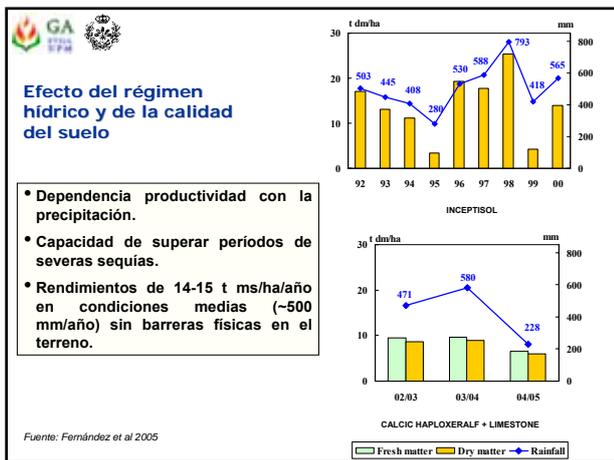
**HERBÁCEAS PERENNES**

10/44





Cynara	<i>Cynara cardunculus</i> L.
Requerimientos hídricos	Secano en climas mediterráneos (400-600 mm). Tolerante a la sequía
Productividad	5-20 t ms/ha/año en España Media: 14 t dm/ha/year
Composición de la biomasa (% ms):	5-10% Cenizas 23.6-59% Cel, 15.9-26.5% Hem, 2.6-13.2% Lign. (s/f) (Fernández, 1996)
Poder calorífico (MJ/Kg)	HHV: 15.1-23.3 s/fracción; x=17.1; LHV: 13.9-21.8 (Fernández et al.)
Otros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Origen mediterráneo</li> <li>• Producción dependiente de precipitación.</li> <li>• Cosecha anual.</li> <li>• Doble aplicación: aceite y lignocelulosa.</li> <li>• Perfil aas similar al girasol → biodiesel.</li> <li>• Contenido en cenizas a veces alto como consecuencia de contaminación por partículas de suelo (cosecha mecánica).</li> <li>• C3</li> </ul>



Caña gigante/caña común	<i>Arundo donax</i> L.
Requerimientos hídricos	La mayoría de los ensayos en S Europa se han llevado a cabo en regadío. Pero existe evidencia de que a partir del 2º año se puede cultivar en secano.
Productividad (t ms/ha/año)	5-37 t ms/ha/año en Europa (Lewandowski et al 2003)
Composición de la biomasa (% ms):	3-3.8% cenizas 26.6-28.3% Cel, 25.7-28.3%, 17.7-19.4% Lig (Neto et al 1997)
Poder calorífico (MJ/Kg)	HHV: 18.3-18.9; LHV: 17.2-17.6 (Phyllis database)
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amplia distribución en el Mediterráneo</li> <li>• Tolerante a la sequía</li> <li>• Los rendimientos máximos se han obtenido en S Europa en regadío.</li> <li>• Rendimiento 1er año &lt; siguientes</li> <li>• Cosecha anual</li> <li>• Ruta fotosintética C3</li> </ul>



Cortesía de A.Monti & G.Graziati- UNIBO (Italia)

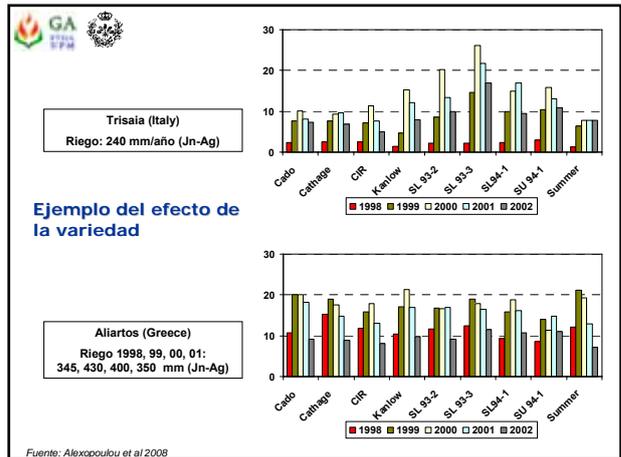
19/44



20/44

Panizo de pradera/switchgrass	<i>Panicum virgatum</i> L.
Requerimientos hídricos	Requiere <b>riego</b> en S Europa (300-600 mm en verano) Sin riego en USA con 500-1000 mm/año en zonas sin sequía estival
Productividad (t ms/ha/año)	24.4 t ms/ha/año en USA (McLaughlin & Kszos, 2005) 12.4 t ms/ha/año en Matera (Italia) (Sharma et al 2003) 10.1-18.2 t dm/ha/año en Grecia e Italia (Alexopoulou et al 2005)
Composición de la biomasa (% ms):	1.9-10.1% cenizas, 32-39.6% Cel, 28.6-32.9% Hem, 5.7-18.9% Lig (Phyllis database)
Poder calorífico (MJ/Kg)	HHV: 17.3-18.9; LHV: 15.9-17.6 (Phyllis database)
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alcanza su potencial a partir del 3<sup>er</sup> año (USA).</li> <li>Introducción reciente en Europa</li> <li>Grandes diferencias entre variedades</li> <li>Las variedades 'lowland' (Alamo) son las más productivas.</li> <li>En Europa se ha observado una caída del rendimiento a partir del 5 año.</li> <li>Ruta fotosintética C4</li> </ul>

21/44

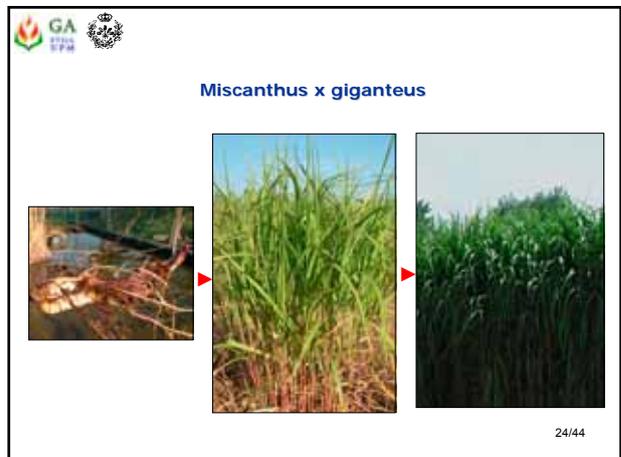


Fuente: Alexopoulou et al 2008



MISCANTHUS

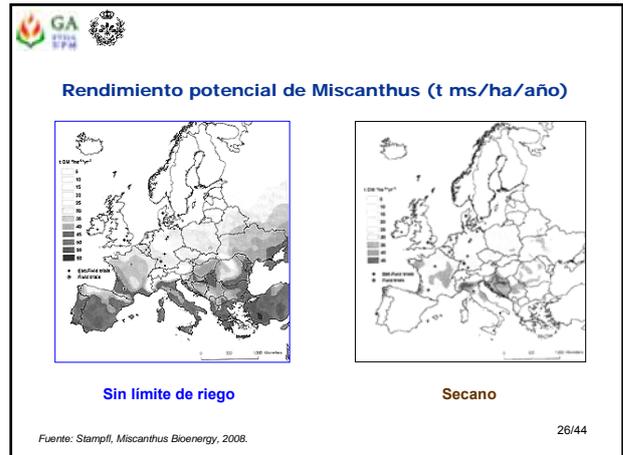
23/44



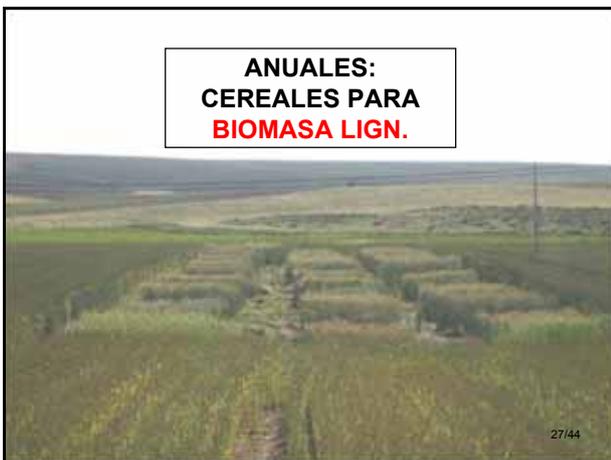
24/44

Miscanthus	Miscanthus spp. e híbridos
Requerimientos hídricos	Exigente. Necesita <b>riego</b> en S Europa Consumo de agua en Sicilia: 933 mm (Cosentino et al 2006)
Productividad	27 t ms/ha/año (S Europa, con riego, 3er año) (Clifton-Brown et al 2001, Cosentino et al 2006)
Composición (% d.m.):	1.6-3.6 % cenizas (Lewandowski et al 2000) 44.7% Cel, 29.6% Hem, 2.1% Lign (Leemhuis & Jong, 1997)
Poder calorífico (MJ/Kg)	HHV:19.0-19.5; LHV: 17.8-18.2 (Phyllis database)
Otros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Originaria del E Asia. Reciente <b>introducción</b> en Europa</li> <li>• Genotipos varían considerablemente en rendimiento</li> <li>• Potencial productivo en 3-5 años</li> <li>• <b>C4</b></li> </ul>

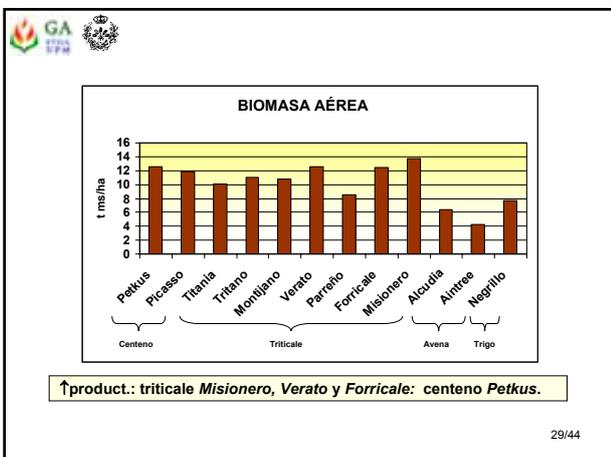
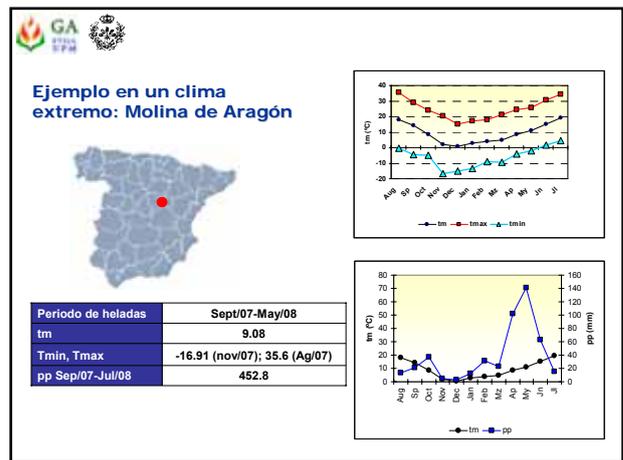
25/44



26/44



27/44

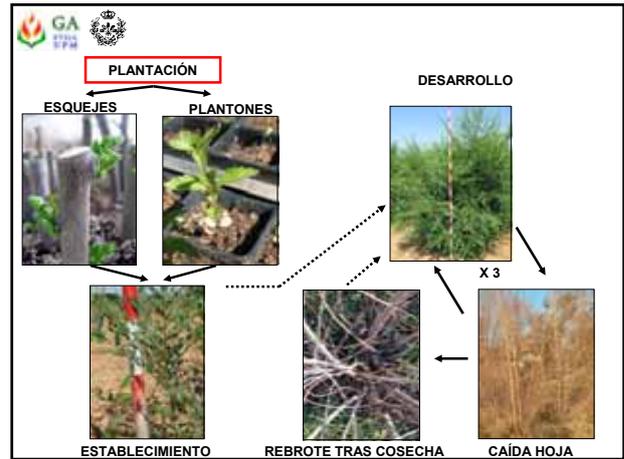


29/44

Producción de cultivos energéticos lignocelulósicos para clima Mediterráneo

**LEÑOSAS (SRF)**

30/44



GA ETSIA EPM

Olmo de Siberia (SRC)	<i>Ulmus pumila</i>
Requerimientos hídricos	Secano en S Europa
Productividad	>5.11 t ms/ha/año (Teruel)
Composición (% d.m.b.):	Madera: 0.8% cenizas 15.6% hem., 41.0% cel., 26.0% lign. Corteza: 9% cenizas 6.3% hem., 27.1% cel., 12.5% lign.
Poder calorífico (MJ/Kg)	PCS: 18.89; PCI:17.55 MJ/kg PCS madera: 19.54; PCS corteza: 17.39
Otros	• SRF • Rotación: ~3 years

Fuente: Iriarte, 2008

34/44



GA ETSIA EPM

chopo madera

Ensayos de chopo SRC-CEDER (So)

Densidad de la madera: 353-467 kg/m<sup>3</sup>

36/44

Chopo (SRC)	<i>Populus spp &amp; híbridos</i>
Requerimientos hídricos	Riego necesario en S Europa
Productividad (t ms/ha/año)	8.4-16.9 ( <i>San Miguel y Montoya 1984</i> ) 6.3-19.8 en Soria ( <i>Ciria et al 1996</i> )
Composición (% m.s.):	1-2% cenizas 40% Cel, 23% Hem, 20% Lign ( <i>Lee, 1997</i> )
Poder calorífico (MJ/Kg)	PCS: 18.2-20.3; PCI:19.4 ( <i>Ciria, 1994 &amp; Biobib database</i> )
Otros	• Densidad pl.: ~ 5-10.000 pl/ha • Rotación: 3-6 años (Soria)

37/44



38/44



44



40/44

Paulownia	<i>Paulownia elongata x fortunei, P. tomentosa &amp; híbridos</i>
Requerimientos hídricos	Riego necesario en S Europa (~800 mm) Necesariades menores que chopo(?)
Productividad	En estudio en España
Composición (% m.s.):	1.8-4.5% cenizas 46-49% cel; 22-25% hem; 21-23% lign. ( <i>Hernández et al, 2008; Tecnoholding 2005</i> )
Poder calorífico (MJ/Kg)	PCS: 19.6-19.8; PCS:18.4-18.5 ( <i>Hernández et al, 2008</i> )
Otros	• Originaria de China • Rápido crecimiento (2 m/año se citan) • Resistente al frío • Densidad plant.: 1100-3300 pl/ha (exp.)

41/44

<b>RESUMEN</b>										
	Orig	Forma vital	Rég. Hid.	Rust.	t/ha	%Cel.	%Hem.	%Lign	PCS	
Cynara	Med	Pn hb	Secano	+++	5-20	23-45	23	3-13	15-23	
Arundo	Natriz	Pn hb	Sec/Reg	+++	5-37	28-36	21-30	16-22	18-19	
Switch	Aloc.	Pn hb	Regadio	+	10-18	32-40	29-33	6-19	17-19	
Misc.	Aloc.	Pn hb	Regadio	++	5-27	45	30	2	19	
Olmo S.	Natriz	Leñosa	Secano	+++	5-10	41(27)	16(6)	26(12)	19.5	
Chopo	Med	Leñosa	Regadio	+++	10-14	40	23	20	20	
Paulow	Aloc.	Leñosa	Regadio	++?		46-49	22-25	21-23	20	

42/44

## CONCLUSIONES

- ▶ LA PRODUCCIÓN DE LOS CULTIVOS ENERGÉTICOS DEBE AJUSTARSE A UN MARCO DE **SOSTENIBILIDAD** → *Requerimientos muy estrictos.*
- ▶ LOS CLIMAS MEDITERRÁNEOS TIENEN CARACTERÍSTICAS **ESPECÍFICAS** → *Los cultivos energéticos deben experimentarse localmente.*
- ▶ FACTOR CLAVE ES EL **RIEGO** → *Con riego, muchas opciones de cultivo*
- ▶ **POCAS** PROPUESTAS PARA SECANO
- ▶ PARA UN DETERMINADO CULTIVO, LAS DIFERENCIAS ENTRE SITIOS PUEDE SER **SIGNIFICANTE** → *I+D+I*

43/44

## GRACIAS POR SU ATENCIÓN!!

[adabe.agronomos@upm.es](mailto:adabe.agronomos@upm.es)

[j.fernandez@upm.es](mailto:j.fernandez@upm.es)

[md.curt@upm.es](mailto:md.curt@upm.es)

44/44