



Biomasa de Cultivos Forestales: 10 años de experiencias en España

Zaragoza
Septiembre 2018

Hortensia Sixto
Dpto. Selvicultura y Gestión de Sistemas Forestales
INIA-CIFOR
sixto@inia.es



☛ **SITUAR EN CONTEXTO**

☛ **IDENTIFICAR RETOS EN LA INVESTIGACION: HERRAMIENTAS (PROYECTOS)**

☛ **MANEJO DEL CULTIVO**

Elección del sitio

Preparación del terreno

Adquisición y mantenimiento del material

Instalación de la plantación

Tratamientos culturales

Corta y tratamientos tras la corta

☛ **CONSIDERACIONES FINALES**

Cultivos Forestales, Cultivo de árboles, Arboricultura

- **Ciancio, 1980**
- **FAO, 2000**
- **Carle, J and Holmgren, P.** *Definitions Related to Planted Forests.* FAO, 2003



- ▶ Producción prioritaria sobre el interés protector
- ▶ Persistencia limitada al turno
- ▶ Regeneración artificial
- ▶ Cuidados culturales intensos e imprescindibles:
- ▶ Especies de altos rendimientos
- ▶ Turnos cortos y producciones elevadas ...

Arboricultura de calidad



- Condiciones óptimas para la sp.
- Madera de alto valor tecnológico
- Frondosas
- Aportes E importantes
- Capital y mano de obra especializada

Arboricultura de cantidad

- Superficies mayores
- Condiciones no tan exigentes



**Producción de biomasa para energía
Otros (pasta de papel..)**

Arboricultura de cantidad

Salix spp
Populus spp
Eucalyptus spp

Robinia pseudoacacia
Acacia spp
Quercus spp
Paulownia spp
Platanus hybrida
Ulmus pumila
Betula spp etc..

Pinus radiata
Pinus pinaster

Arboricultura de calidad

Prunus avium
Juglans spp
Castanea sativa

Ocupación de Terrenos agrícolas excedentarios o forestales con características específicas

- Material genético sobresaliente
- Planta de calidad
- Selvicultura adecuada

Selvicultura intensiva o semi-intensiva

“ Enfoque de la Selvicultura que tiende a obtener un alto nivel de volumen por unidad de superficie o de calidad de materias primas, restringiendo poco en las inversiones. Requiere estaciones de calidad y especies de alto rendimiento”



Exaltar la Productividad Potencial del sitio y de la especie



AGROSISTEMA

- Mejora genética de las especies que se utilizan
- Productividad estacional sobre la especie cultivada
- Aportes externos: Tratamientos culturales

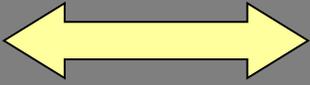


- ↪ Producción preferente de bienes
- ↪ Técnicas de producción

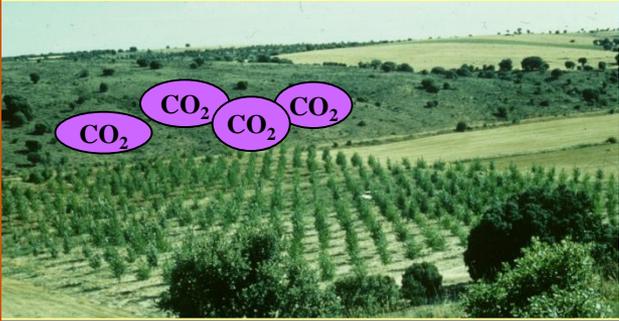


Beneficios de la práctica de la arboricultura

▶ Disminuir la presión en masas naturales

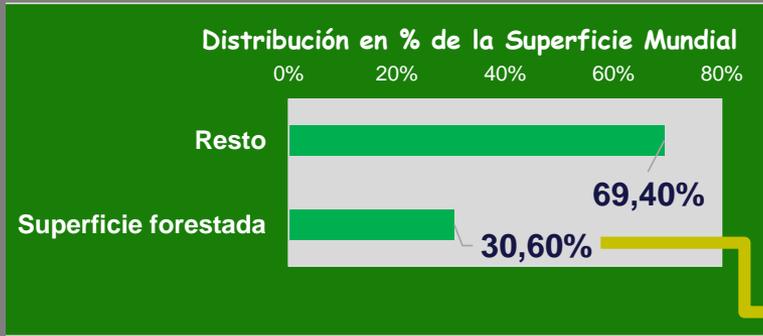


▶ Importancia ambiental, social y económica (Barreiro 2003)

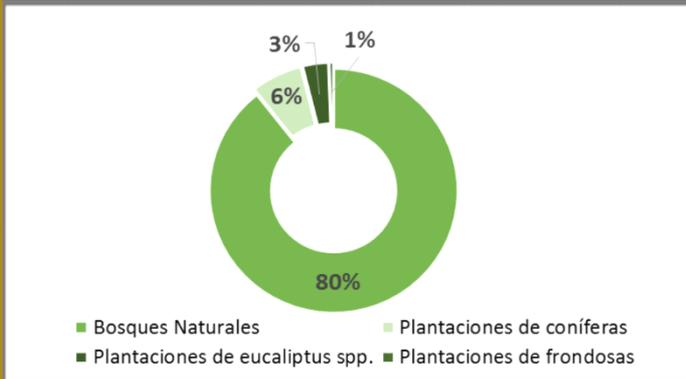


Necesidad de aplicar criterios de sostenibilidad

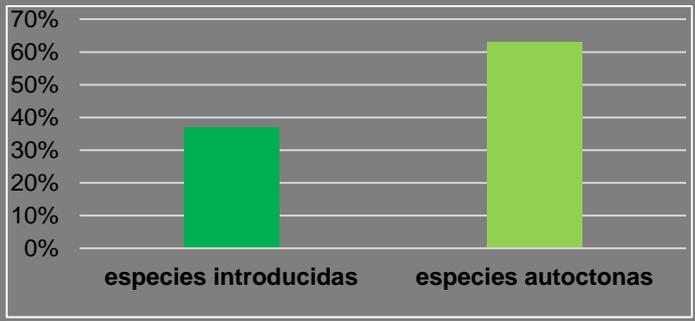
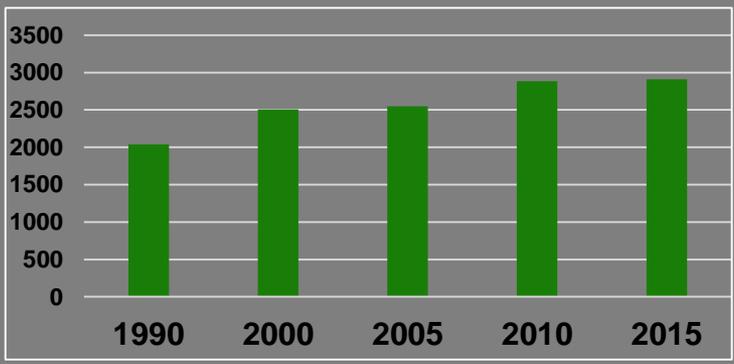
CONTEXTO



Superficie de los Cultivos Forestales en España en relación a la superficie forestal nacional

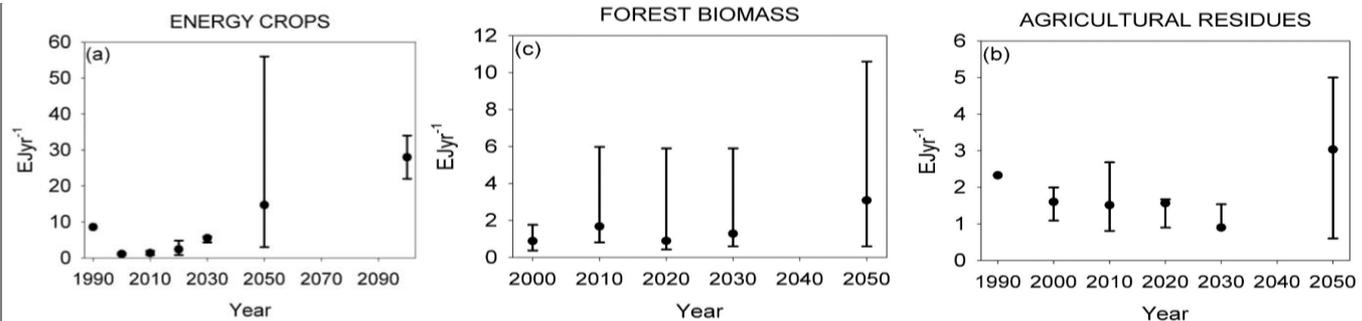


Evolución de plantaciones forestales en los últimos 25 años (x1 000 ha)



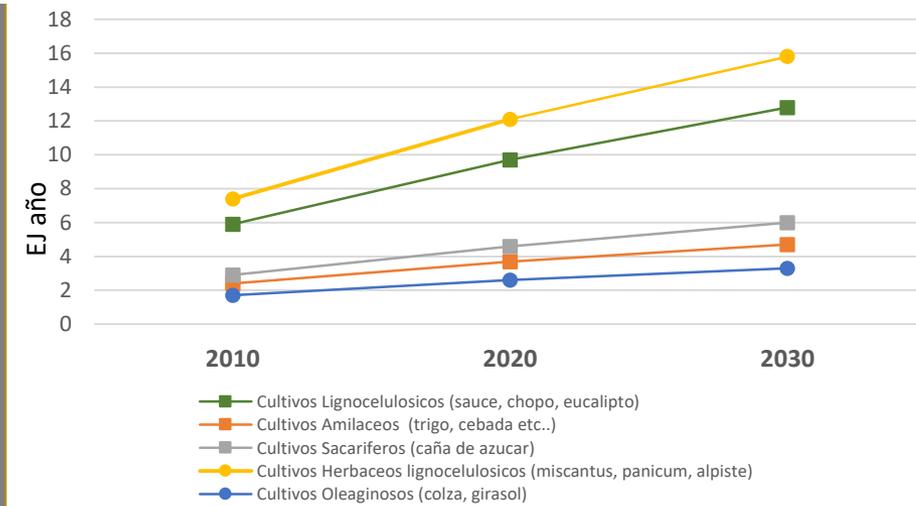
Estimaciones del potencial de biomasa de cultivos en Europa:

Media y rango del potencial de las tres principales fuentes de biomasa.



Fuente: Bents and Felby 2012. Biomass for energy in the EU-a review Basado en 30 estudios

Potencial en Europa de diferentes cultivos para uso energético en tierras agrarias y pastizales



Fuente: Wit y Faaij 2010. European Biomass resource cost

EUROPA

⇒ CAMBIO CLIMATICO

- *A policy framework for climate and energy in the period from 2020 to 2030. EC COM(2014)*
- *A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050 COM (2011) 112*

⇒ ESTRATEGIA EN BIOECONOMIA

- *Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe. EC COM (2012)*
- *Scarlat, N et al. The role of biomass asnd bioenergy in a future bioeconomy: Policies and facts.Environmental Development 2015 15, 3-34.*

ESPAÑA

⇒ CAMBIO CLIMATICO

- *Plan de Fomento de Energías Renovables (PER) 2005-2010 IDAE*
- *Plan de Acción Nacional de Energías Renovables (PANER), 2011-2020 IDAE*
- *Modificación del regimen normativo en torno a energías renovables. RD 1/2012 de 27 de enero*

Subastas de energía renovable incluyendo tímidamente la biomasa

⇒ ESTRATEGIA EN BIOECONOMIA

- *Estrategia Española de Bioeconomía: Horizonte 2030. MINECO 2016.*

Finalidad Productiva

Biomasa con fines energéticos

Bioproductos

Biorefineria



NECESIDAD de incrementar los conocimientos en cuanto a la viabilidad de los cultivos para el aprovechamiento térmico, eléctrico o como biocarburantes así como para otros productos de alto valor añadido mediante la implementación en investigación y el desarrollo tecnológico

DEFINICION

¿Qué se entiende por Biomasa? (RD 661 de 2007)

“Fracción biodegradable de los productos, subproductos y residuos procedentes de la agricultura (incluidas las de origen vegetal y de origen animal) de la silvicultura y de las industrias conexas, así como la fracción biodegradable de los residuos industriales y municipales”

↳ **Residuos agrícolas, forestales y ganaderos, lodos de depuradoras etc... (≈ 85%)**

↳ **Cultivos dedicados (≈ 15%)**

BIOPLAT. Biomasa: La energía de la naturaleza. <https://www.youtube.com/watch?v=s6OjgzC8IBQ>

Cultivos con Especies Forestales para BioEnergía (RD 661 de 2007)

“Biomasa de origen forestal procedente del aprovechamiento principal de masas forestales originadas mediante actividades de cultivo, cosecha y en caso necesario, procesamiento de las materias primas recolectadas y cuyo destino final sea el energético”

↳ **Aporte planificado en el tiempo y en el espacio**



Ventajas de género:

- Genoma pequeño y secuenciado (2006)
- Disponibilidad de material genético mejorado
- Fácil propagación vegetativa
- ↑ Producción biomasa en turnos cortos
- Rebrote vigoroso tras la corta
- Balance energético positivo
- ↓ Inputs de agroquímicos comparados con la producción agraria
- Usos paralelos (fitoremediación)



Relevancia:



International Poplar Commission (IPC)

1. Investigación básica: - Especie piloto en investigación forestal Sistema Modelo en Biología
2. Conservación: ecosistemas riparios y parentales en la mejora
3. Cultivo: Producción de madera para sierra y desarrollo y Biomasa sector emergente)
4. Efectos medioambientales de las plantaciones: Captación de CO₂, fitoremediación etc.



RETOS I+D+i

Conocimientos científico/técnicos

Identificación de terrenos agrícolas excedentarios y/o sobre terrenos forestales muy productivos y de fácil mecanización

Mejora genética

- Definición de idiotipo
- Selección clonal (interacción G*E)

Diseño del cultivo

Producción según espaciamientos y turnos
Dependencia de la mecanización

Prácticas de manejo

Desarrollo tecnológico
Balances más ajustados

Mecanización del cultivo y logística

Caracterización de la biomasa

Balance energético, económico y ambientales. Criterios de sostenibilidad

Herramientas para contribuir a dar respuesta a una implementación eficiente de los cultivos forestales en alta densidad y corta rotación

Proyecto Singular Estratégico: ON-Cultivos (9 subp.) (A. Nacional) 2006-2012



INNFACTO: DECOCEL Desarrollo de la producción comercial de electricidad en plantas centralizadas a partir de la biomasa de cultivos energéticos (A. Nacional) 2012-2015

PLAN E: LIGNOCROP Cultivos leñosos para energía (A. nacional) 2012-2015



Proyectos Recursos y Tecnologías Agrarias (A. nacional)

“Cultivo de *Populus* spp con fines energéticos y medioambientales” 2005-2008

“Cultivos forestales como productores de biomasa con fines energéticos” 2009-2011

“Producción sostenible de biomasa en cultivos forestales: valoración de la eficiencia en el uso del agua y de la eficacia del uso de plantaciones mixtas” 2012-2014

“Biomasa para la Bioeconomía (BIBI): Producción, Cuantificando y Valorando Cultivos Forestales” 2015-2018

“Optimización y modelización de la producción sostenible de biomasa lignocelulosa para la obtención de bioproductos bajo escenarios de cambio climático (LIGBIO)” ” 2019-2021



Proyecto Europeo (Plan KBBE): Trees for Jules. (A. Europeo) 2011-2013

Colaboración Europea: EU-POP. (A. Europeo) 2015-2021



Red de Ensayos

ENSAYOS DEMOSTRACION (3 a 60 ha)
Datos de producción a escala real

ENSAYOS EXPERIMENTALES

Tratamientos culturales:

Fertilización
Control de malas hierbas
Riego

ENSAYOS EXPERIMENTALES

- Diseño del cultivo: Densidades

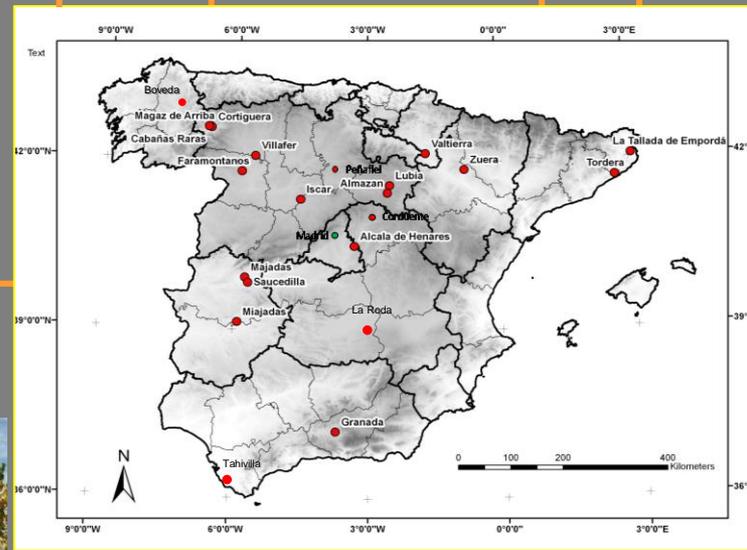
ENSAYOS EXPERIMENTALES

Diseño del cultivo: Ciclos de corta \Rightarrow 1+2; 3 o 4 años

ENSAYOS EXPERIMENTALES

Material genético e interacción G*E:

- Híbridos productivos
- Material autóctono
- Otras especies



ENSAYOS EN CONDICIONES CONTROLADAS

Estudios de eficiencia en el uso de los recursos y de expresión de genes candidatos en plantas sometidas a estrés salino



Protocolo de Cultivo



- ↪ **Elección del sitio**
- ↪ **Preparación del terreno**
- ↪ **Adquisición y mantenimiento del material vegetal**
- ↪ **Instalación de la plantación**
- ↪ **Tratamientos culturales**
- ↪ **Corta**
- ↪ **Tratamientos tras la corta**



↳ Elección del sitio

- **Adecuación de la zona:**
Requerimientos de la especie en cuanto a suelo y clima
- **Requerimientos relativos a la ubicación:**
accesibilidad, no existencia de obstáculos, precios del suelo...
- **Conveniencia socioeconomica del tipo de terrenos a usar**



↪ Preparación del terreno



- **Subsolado, Alzado, Gradeos**
- **Control de las malas hierbas perennes**
- **Abonado de fondo**

↳ Elección del material vegetal

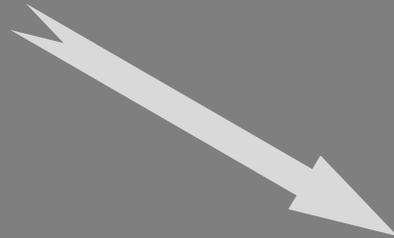
Taxonomicamente



- Variabilidad natural
- Capacidad de hibridación



Agregacionistas

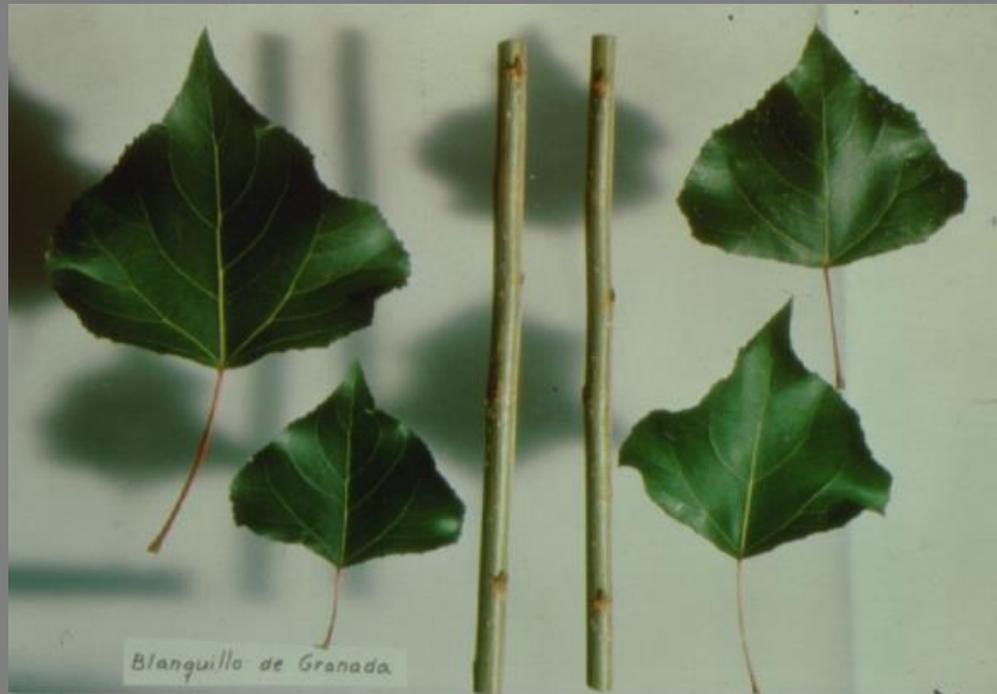


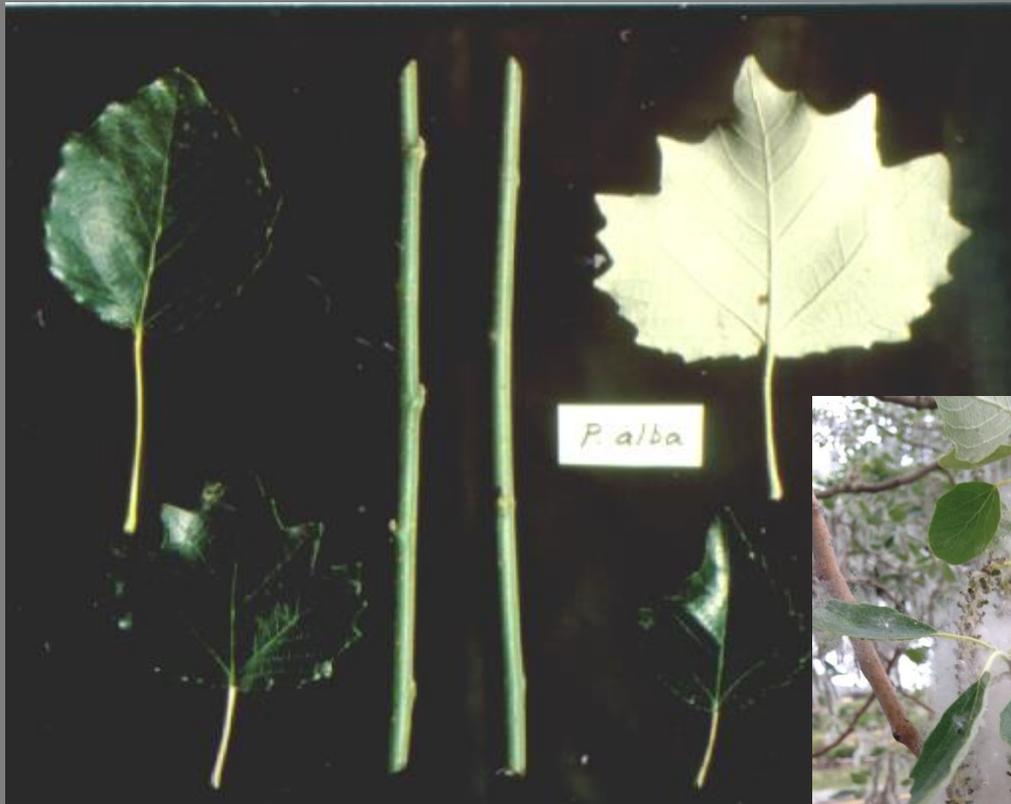
Sección	Especies
Abaso	<i>P. mexicana</i> Wesmael
Turanga	<i>P. euphratica</i> Olivier <i>P. ilicifolia</i> (Engler) Rouleau <i>P. pruinosa</i> Schrenk
Leucoides	<i>P. lasiocarpa</i> Oliver <i>P. glauca</i> Haines
Aigeiros	<u>P. nigra L.*</u> <i>P. deltoides</i> Mashall <i>P. fremontii</i> S. Watson
Tacamahaca .	<i>P. angustifolia</i> James <i>P. balsamifera</i> L. <i>P. suaveolens</i> Fisher <i>P. ciliata</i> Royle <i>P. laurifolia</i> Ledebour <i>P. simonii</i> Carriere <i>P. szechuanica</i> Schneider <i>P. trichocarpa</i> T. & G. <i>P. yunnanensis</i> Dode
Populus (Leuce)	<i>P. adenopoda</i> Maximowicz <u>P. alba L.*</u> <u>P. tremula L.*</u> <i>P. gamblei</i> Haines <i>P. grandidentata</i> Michaux <i>P. guzmanantlensis</i> Vazquez y Cuevas <i>P. monticola</i> Brandegee <i>P. sieboldii</i> Miquel <i>P. simaroa</i> Rzedowski <i>P. tremuloides</i> Michaux

P. tremula L.



P. nigra L.





P. alba L.

↪ Elección del material vegetal

P. x canadensis Dode (Gunier) \Rightarrow *P. deltoides* x *P. nigra*

P. x generosa \Rightarrow *P. deltoides* x *P. trichocarpa* (y vices.)



↳ Elección del material vegetal

Facilidad de multiplicación vegetativa

CATALOGO NACIONAL DE MATERIALES DE BASE PARA EL Género *POPULUS* en la Categoría de Material Controlado

Populus x euramericana (Dode) Guinier

Agathe F.
Campeador
Canadá blanco
Flevo
I-MC
I-214
I-488
Luisa Avanzo
Triplo

Populus deltoides Marsh x Populus alba L.
114/69

Populus deltoides Marsh
Lux

Populus nigra L.
Tr 56/75

Populus trichocarpa Torr. X Populus deltoides M
Beaupre
Raspalje

(BOE 27/07/92)

Populus x euramericana (Dode) Guinier

2000 Verde
B-1M
BL-Costanzo
Branagesi
Dorskamp
Guardi
I-545/40
NNDV

Populus nigra L.
Bordils
Lombardo leonés

Populus deltoides Marsh
Viriato

Populus x interamericana Brokehuizen
Boelare
Unal
USA 49-177

(BOE 14/03/03)

*Modificación del Catálogo Nacional (Resolución de 7 Noviembre de 2011). El I-MC se denomina MC. Se suprimen I-488, BL-Constanzo, y NNDv.

↪ Elección del material vegetal

Poplar can be bred to order (Schreiner 1949)

Definición de idiotipo

- Producción
- Adaptación
- Eficiencia en el uso de los recursos
- Tolerancia a estrés bióticos y abióticos
- Características concretas de la madera. Densidad?



Selección clonal



↳ Elección del material vegetal

Calidad del material y correcta conservación

- Adecuado para las condiciones de suelo y clima, sano etc.
- Condiciones de conservación en ausencia de luz, baja temperatura y con suficiente humedad
- Establecimiento a partir de estaquillas de tallo lignificado



↳ Elección del material vegetal

Caracterización adaptativa de los materiales

Evaluación del crecimiento, producción y aptitud hacia el recepe

Crecimiento:

% de marras

- ♦ Altura total (Ht)
- ♦ Diámetro basal (0,25 m)
- ♦ Diámetro normal (1,30 m) de la planta antes del recepado

Después del recepado

- ♦ nº de brotes/ pie
- ♦ Altura de cada brote emitido
- ♦ Diámetro basal de cada brote (0,25 m)
- ♦ Área basimétrica de la cepa (m^2 /cepa)

Producción:

Fracciones de biomasa (en verde y en seco)

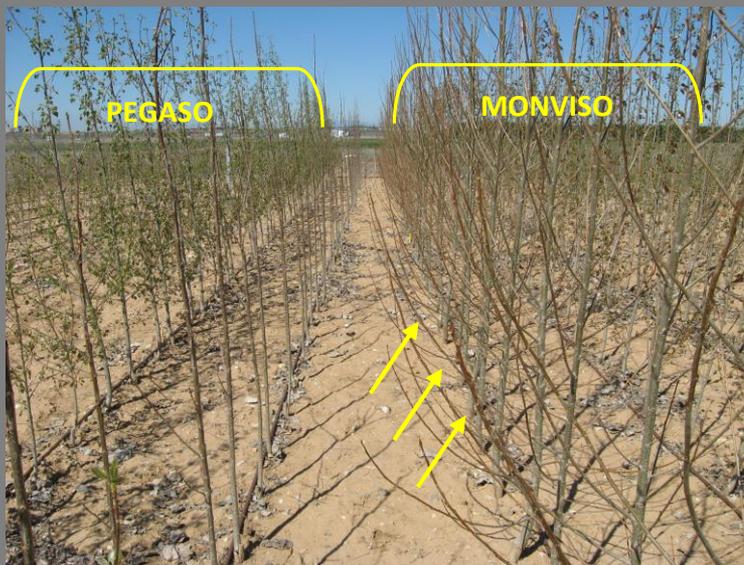
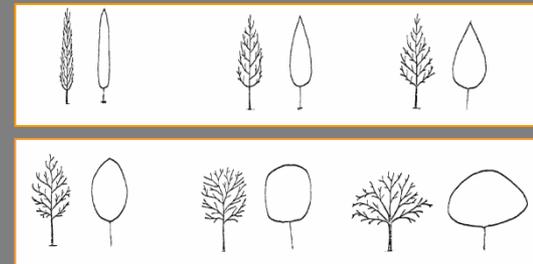
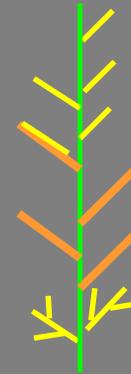
- ♦ Fustes
- ♦ Ramas
- ♦ Biomasa total
- ♦ Biomasa radical



Elección del material vegetal

Evaluación de la arquitectura y de características foliares

- Nº de ramas total
- Nº de ramas cortas, intermedias y largas
- Nº de ramas silépticas y prolécticas
- Altura total, de la 1ª y de la última rama
- Ángulo de inserción de las ramas
- Diámetro de la rama a 1, 30
- Área foliar total (LAI) y Área foliar específica (SLA)



↪ Elección del material vegetal

Evaluación de variables funcionales y bioquímicas

- Intercambio gaseoso: A ($\mu\text{mol de CO}_2 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$), E ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
gs ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), $\Leftrightarrow \text{EIUA} = \text{A/gs}$, $\text{EUA} = \text{A/E}$
- Análisis de $\delta^{13}\text{C}$
- Análisis de nutrientes (hojas y en madera)

Otros criterios a evaluar

- Fenología (amplitud del periodo vegetativo)
- Respuesta a estres bióticos y abióticos

Material autóctono para marginalidad: Salinidad/Déficit hídrico

Response to sodium chloride in different species and clones of *Populus* genus. 2005. *Forestry*, 78 (1):93-104

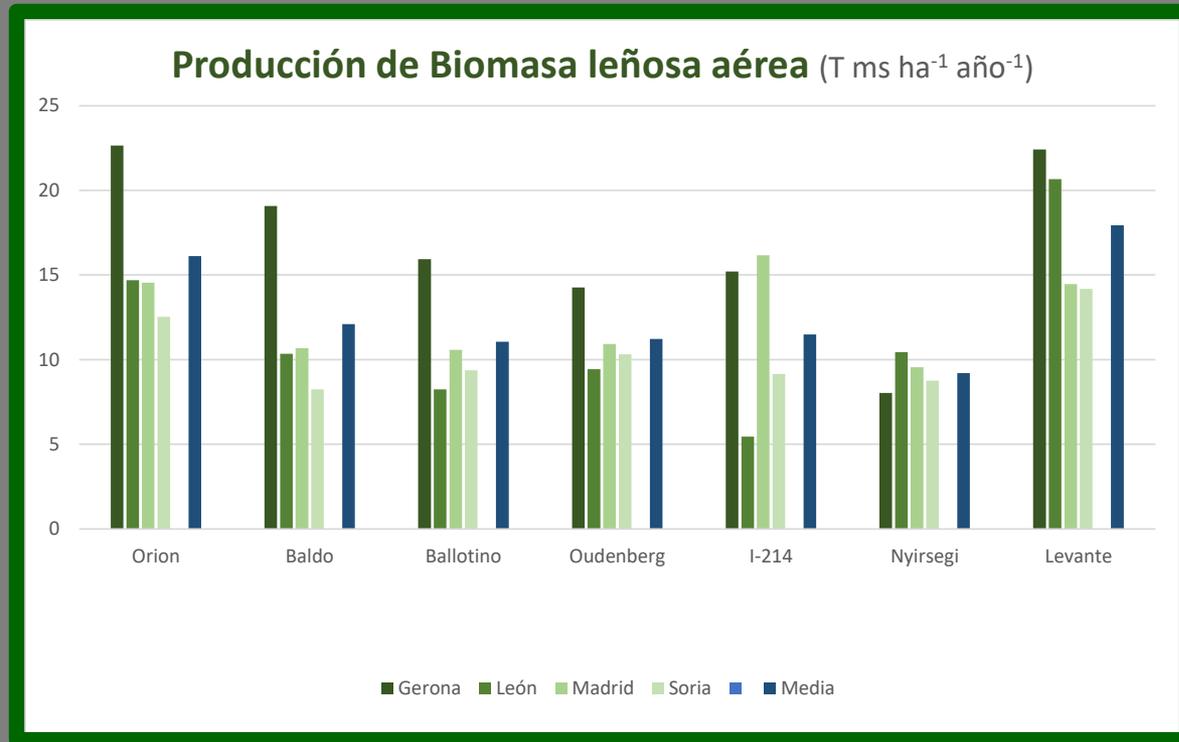
Assessment of salt tolerance in *Populus alba* clones using chlorophyll fluorescence. 2006. *Photosynthetica* 44(2):169-173

Eucalyptus spp. and Populus spp. coping with salinity stress: an approach on growth, physiological and molecular features in the context of short rotation coppice (SRC). 2016. *Trees-Structure and Function* 30 (5), 1873-1891



↪ Elección del material vegetal

*Respuesta adaptativa de los materiales: interacción G*E*



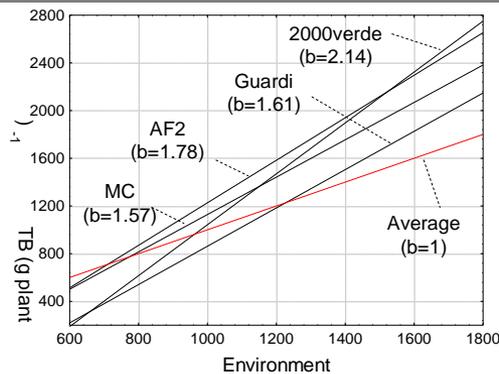
- Debilita la asociación fenotipo-genotipo
- Reduce la eficacia de los programas de mejora
- Dificulta la recomendación de materiales

- Genetic variation and genotype-environment interactions in short rotation *Populus* plantations in Southern Europe. *New Forests* (2011) 42, 163-177
- Performance of hybrid poplar clones in short rotation forestry in Mediterranean environments: analysis of genotypic stability. *GCB Bioenergy* (2014) 6,661-671.
- Growth potential of different species and genotypes for biomass production in short rotation in Mediterranean environments. *Forest Ecology and Management* (2015)
- Interpreting genotype by environment interaction for biomass production in hybrid poplars under short rotation coppice in Mediterranean environments.) *GCB Bioenergy* (2015) 6, 661-671.



Elección del material vegetal: Selección clonal

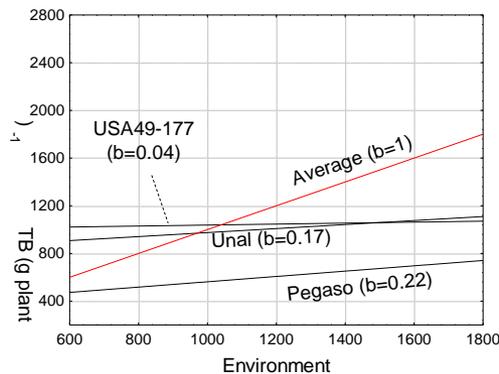
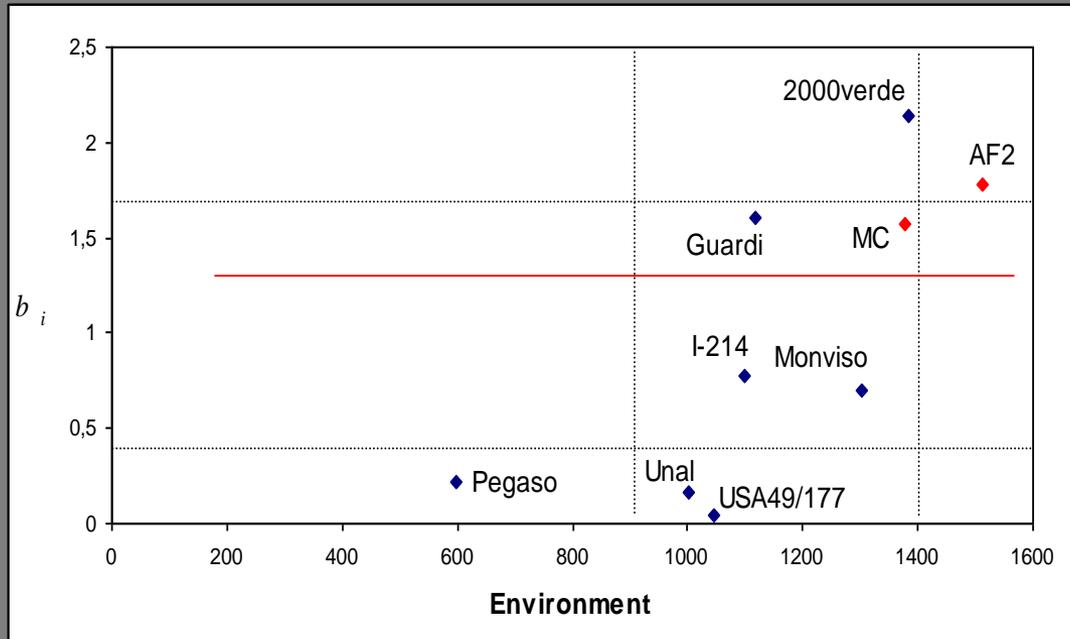
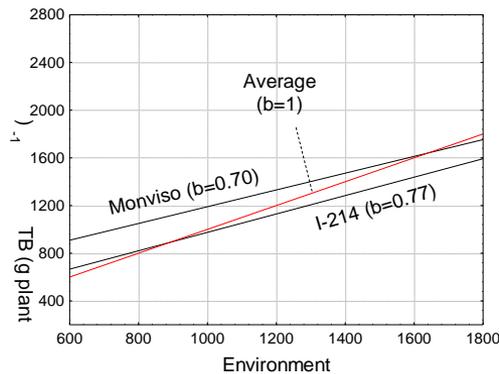
CAPACIDAD DE REACCIÓN



Analizar la estabilidad de comportamiento

Concepto de estabilidad genotípica (Becker & Leon, 1988)

Diferentes aproximaciones paramétricas y no paramétricas
 La estabilidad de la respuesta genotípica pudo explicarse a partir del coeficiente de regresión (b) y la desviación de la varianza estimada (δ_{ij}).



Elección del material vegetal: Selección clonal

Eficiencia en el uso de los recursos

	Monviso		>	I-214		=	Unal		
	X	e.est.		X	e.est.		X	e.est.	
Ci $\mu\text{mol.mol}^{-1}$	235.70	± 3.56	b	260.60	± 3.50	a	241.10	± 3.95	b
gs $\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$	0.4146	± 0.03	b	0.5564	± 0.03	a	0.3794	± 0.03	b
A (área) $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$	15.140	± 0.56	a	14.690	± 0.55	a	14.070	± 0.62	a
SLA $\text{cm}^2.\text{g}^{-1}$	172.70	± 3.46	b	181.00	± 3.40	a	168.80	± 3.84	b
N (masa) mg.g^{-1}	3.7600	± 0.06	a	3.6300	± 0.06	a	3.3700	± 0.07	b
NUE (masa) $\mu\text{mol. s}^{-1}.\text{g}^{-1}$	0.6900	± 0.03	a	0.7200	± 0.03	a	0.6900	± 0.03	a
$\delta^{13}\text{C}$ ‰	-24.81	± 0.18	a	-26.81	± 0.18	c	-25.37	± 0.22	b
IWUE mmol.mol^{-1}	43.44	± 1.57	a	30.990	± 1.55	b	41.920	± 1.75	a

Producción en Volumen	r	P
A masa	- 0.3918	★★
A área	+ 0.0798	NS
SLA	- 0.5535	★★
ci	- 0.2811	★★
gs	- 0.1317	★★
IWUE	+ 0.3184	★★
$\delta^{13}\text{C}$	+ 0.2914	★★
N masa	- 0.2513	★★
N área	+ 0.6966	★★
NUE masa	+ 0.2909	★★
NUE área	- 0.2785	★★



•Evaluación de criterios para la selección de clones de chopo como productores de biomasa

Congreso: XXVII Reunión de la Sociedad Española de Fisiología Vegetal y X Congreso Hispano-Luso de Fisiología Vegetal, .2007

↪ Instalación de la plantación

- Replanteo de la parcela
- Estaquillado (manual o mecanizado) en alta densidad (5.000/20.000pies/ha)
- Diseño



Manual

286 estaq.h⁻¹

286 m². h⁻¹

35 h.ha⁻¹

Mecánico

≈ 1.000/1.300 estaq.h⁻¹

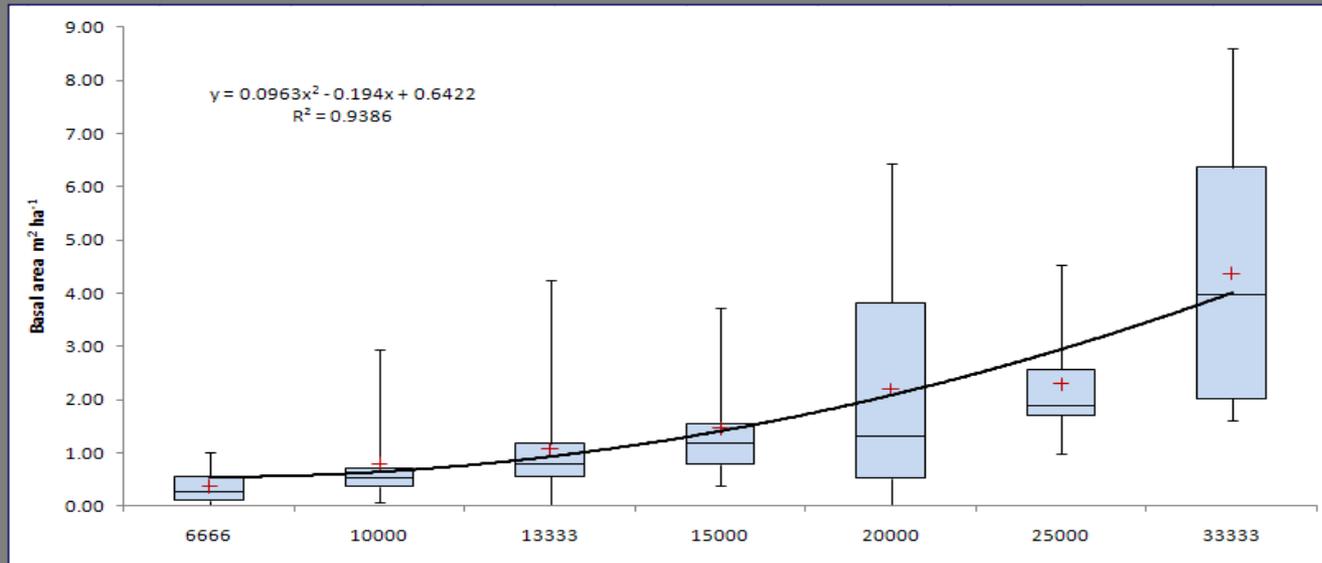
≈ 1.300/1.600 m². h⁻¹

≈ 6/7 h.ha⁻¹

Fuente: G.Facciotto 2009

Instalación de la plantación

Densidad de plantación y Diseño



¿Entre 5.000 y 15.000 pies/ha?

- ↓ producción
- ↓ coste de material y coste de plantación
- ↔ coste de tareas culturales
- ↑ facilidad en el manejo de la plantación
- ↑ facilidad y menor coste de las tareas de corta
- ↑ mayor calidad de la biomasa (humedad, corteza) etc.



↪ **Tratamientos culturales**

Riego

Fertilización

Control de la vegetación competidora

Control de plagas y enfermedades

Tratamientos culturales: Control de malas hierbas

Competencia:

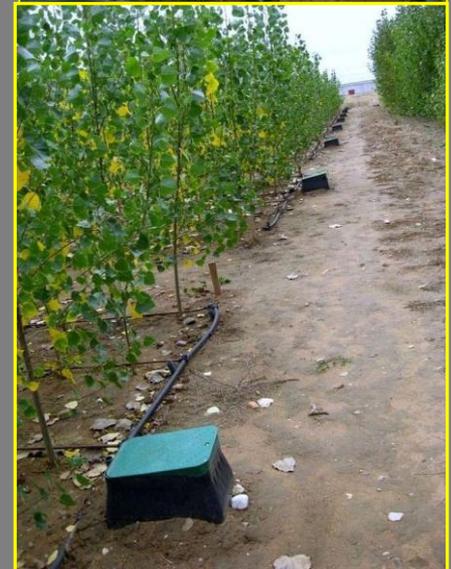
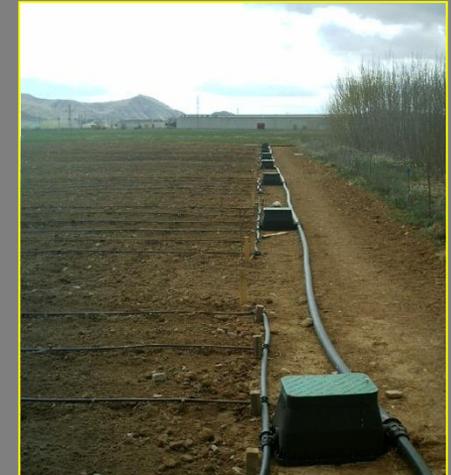
- Luz y el espacio
- Nutrientes y la humedad



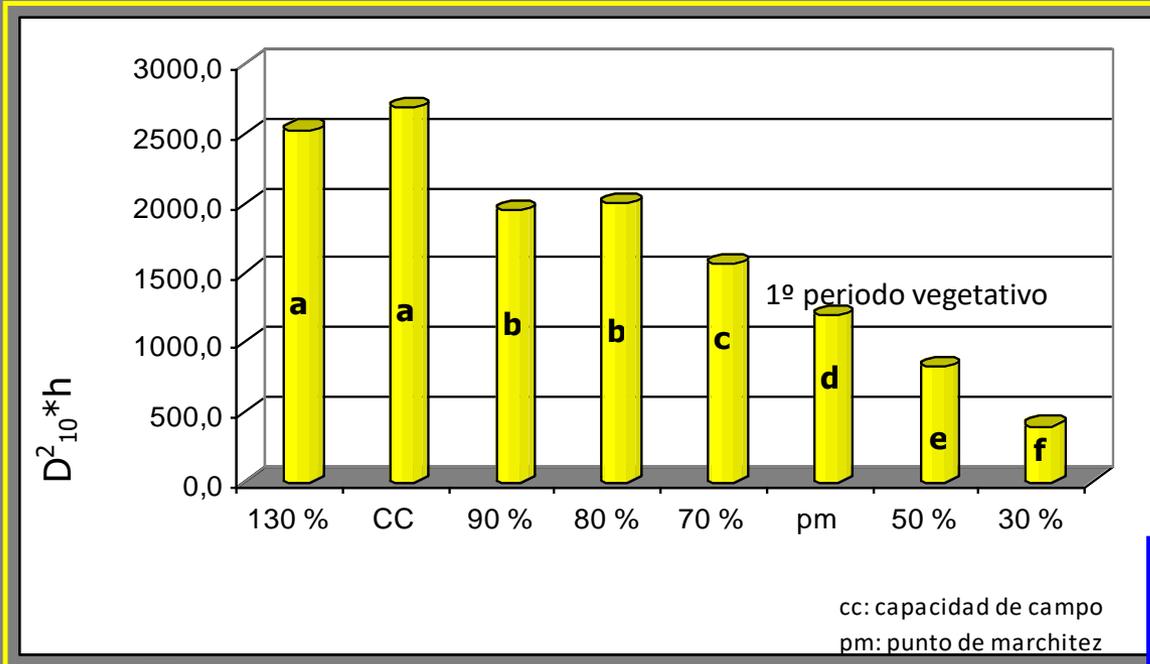
↪ Tratamientos culturales

Riego imprescindible en condiciones de clima Mediterráneo. Sistemas de goteo

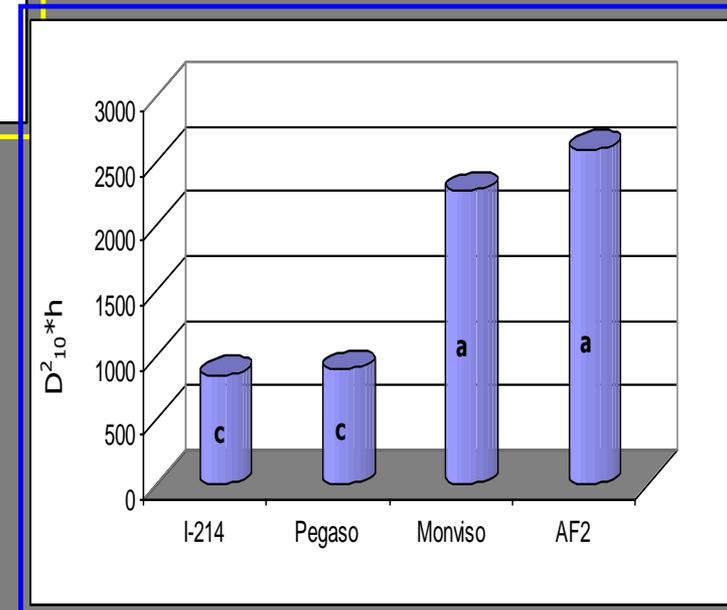
Producción bajo diferentes regímenes hídricos



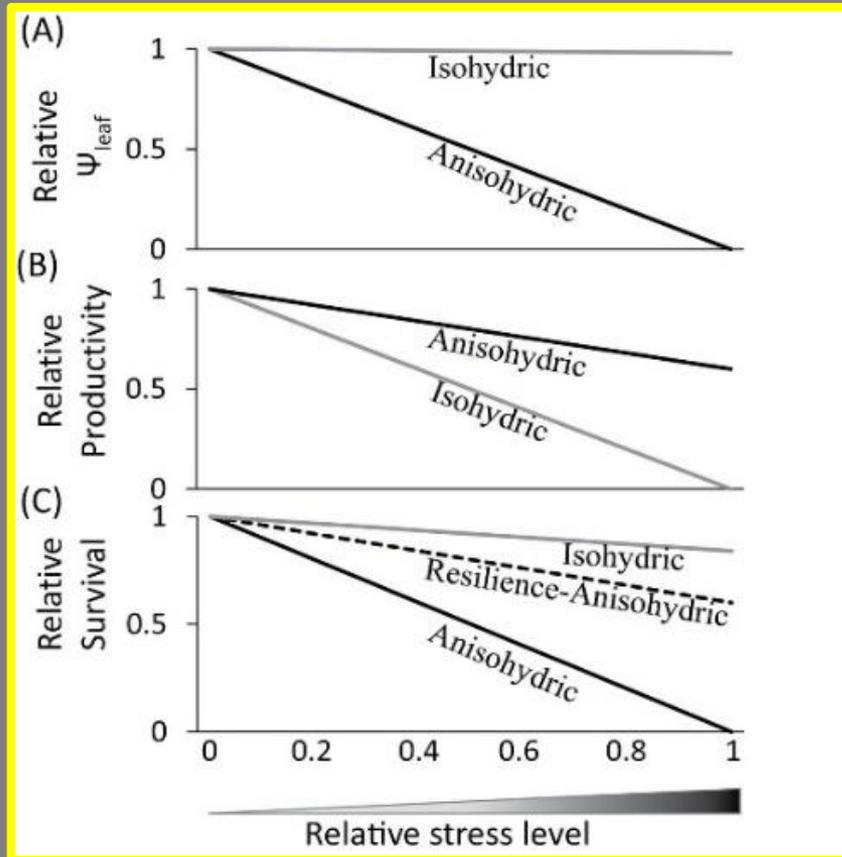
Tratamientos culturales: Riego (caudal versus productividad)



Poplar biomass production in short rotation under irrigation: A case study in the Mediterranean Biomass & Bioenergy (2017) 107:198-206.



Caudal de Riego	Reducción de volumen de madera respecto al obtenido en la capacidad de campo
130%	5%
90 %	27%
80 %	25%
70%	42%
65%	55%
50%	69%
30%	85%



Modelo conceptual del comportamiento de plantas isohídricas frente a anisohídricas por medio de la regulación de (A) Ψ_{hoja} , (B) productividad, y (C) supervivencia en respuesta al estrés hídrico.

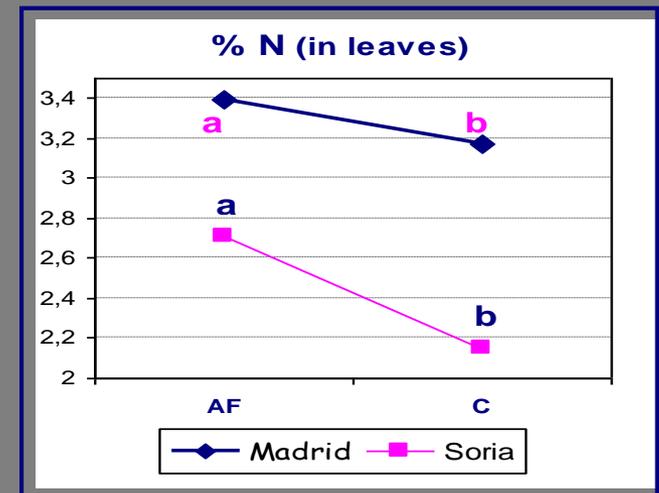
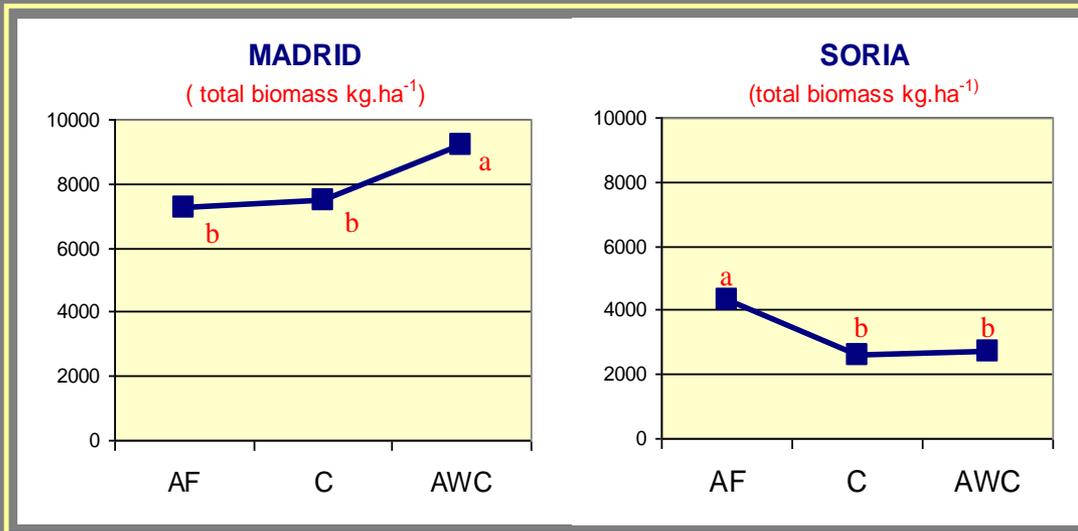
Tratamientos culturales : Fertilización versus control de malas hierbas

Tratamientos aplicados en toda la superficie de ensayo:

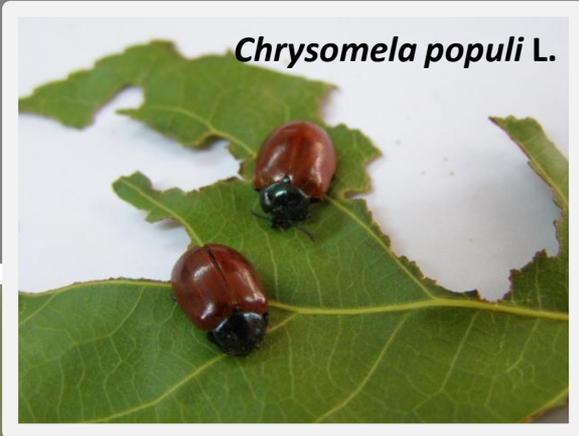
- NPK (8:15:15) at 600 kg. ha⁻¹ • oxifluorfen (4l. ha⁻¹)

Tratamientos adicionales:

- Fertilización adicional NPK (12:12:17) • glifosato



↪ Tratamientos culturales: Plagas, enfermedades y otros daños bióticos



- Daños abióticos



Daños por granizo



Daños por helada

↪ Corta

- **A hecho, con o sin establecimiento del tallar, en turnos entre 2 y 7 años**
- **En una o mas fases**



Autopropulsada. Empresa Biopoplar Iberica

Densidad de plantación
Calidad de la estación
Maquinaria
Calidad de la biomasa



Accionada por tractor agrícola. Empresa Spapperi

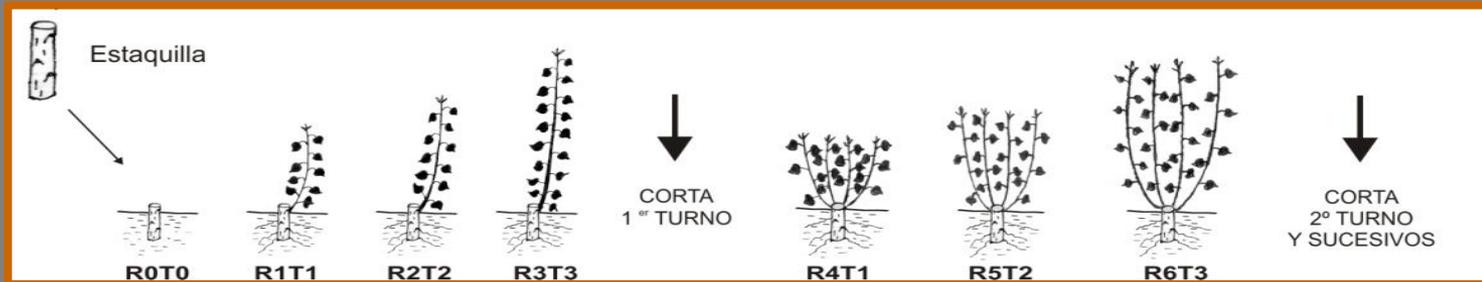


Empresa Salixphere

Protocollo del cultivo



↪ Tratamientos tras la corta



- a) Utilización del recepe para un posterior ciclo de cultivo
 - ✓ Control de malas hierbas, fertilización etc..
- b) Levantar la plantación con o sin incorporación del tocón

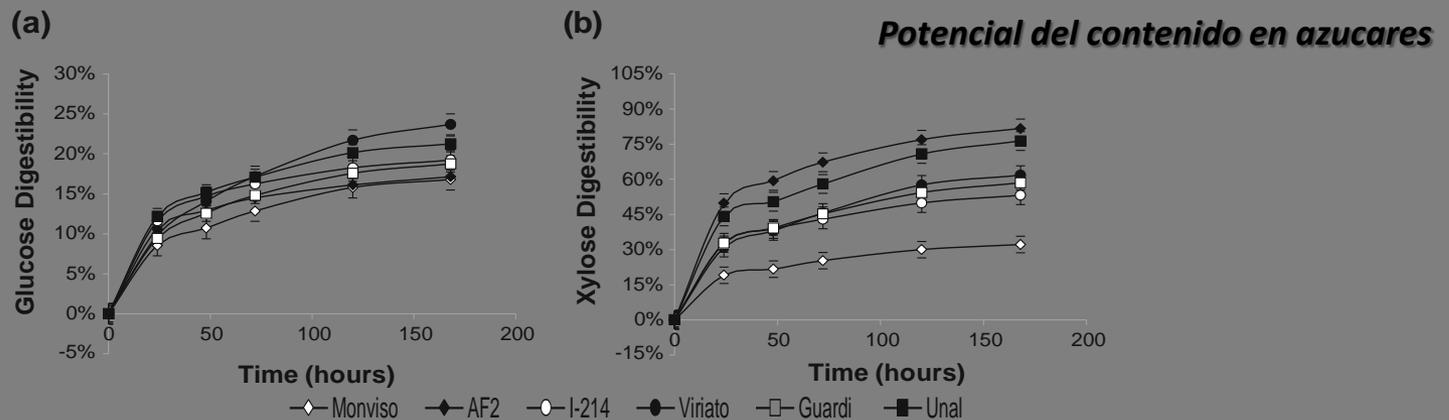


Caracterización de la biomasa

En general mayor adecuación de la biomasa lignocelulósica frente a la herbacea en relacion a contenido en cenizas, tendencia a la sinterización, contenido en iones Cl⁻ etc.

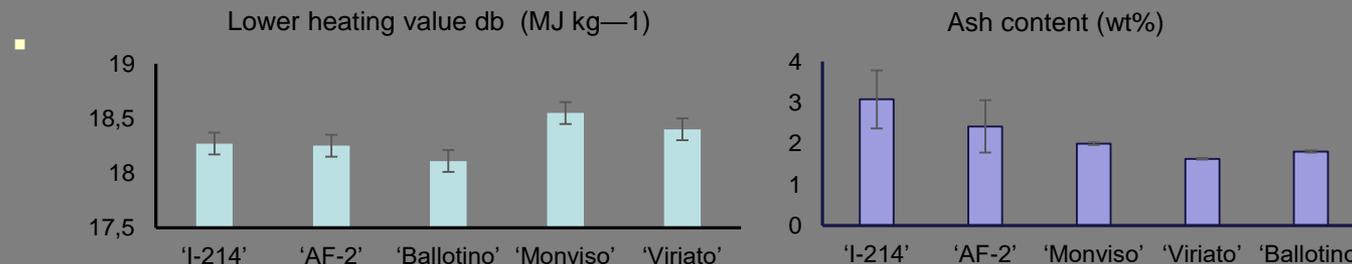
- **Energía y otros usos**

humedad, carbono fijo, cenizas y volátiles, poder calorífico, análisis elemental (C,H,N,S análisis termogravimétrica, contenido en azúcares, en lignina etc..



Potential of different poplar clones for sugar production. Wood Science and Technology (2017) 51 (3): 669-684

Propiedades físicas y termoquímicas



Thermochemical and physical evaluation of poplar genotypes as short rotation forestry crops for energy use. Energy Conversion and Management (2016) 129:131-129

BENEFICIOS MEDIOAMBIENTALES y SOCIOECONOMICOS

- ✓ Efectos positivos en el suelo (control de erosión, mineralización de la biomasa foliar, fijación de carbono, rehabilitación de tierras degradadas, filtrado de contaminantes etc.)
- ✓ Efectos positivos en la biodiversidad (fundamentalmente referido a los árboles fuera del bosque):
 - Diversidad del paisaje
 - Mejora de la presencia y abundancia de micro y macrofauna (sombra, refugio...)
 - Hábitat para depredadores naturales de plagas, polinizadores etc.
- ✓ Disponibilidad del recurso localizado y con temporalidad conocida. Mayor estabilidad en el mercado
- ✓ Efecto sobre el desarrollo rural: Contribución a los objetivos de las políticas de desarrollo rural y por tanto al empleo

ASPECTOS NO TAN BENEFICIOSOS

✓ Consumo de agua y nutrientes

✓ En secano: producciones mas limitadas (asumibles?) y posibilidades de perdidas totales sin las precipitaciones caen por debajo de un umbral necesario. Alta **variabilidad en la producción**

✓ Por un sector de la sociedad la producción obtenida a partir de plantaciones no es bien vista. **Alloctonía**

✓ Competencia con la producción de alimentos (suelo y agua)

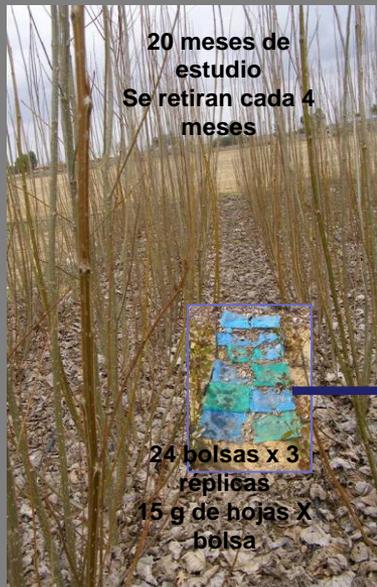
✓ Posibilidad de que acarreen **cambios de uso de suelo?**
(emisiones de GEI derivados del cambio de uso como criterio de sostenibilidad. Directiva 2009/28/EC)

Impacto ambiental asociado al manejo

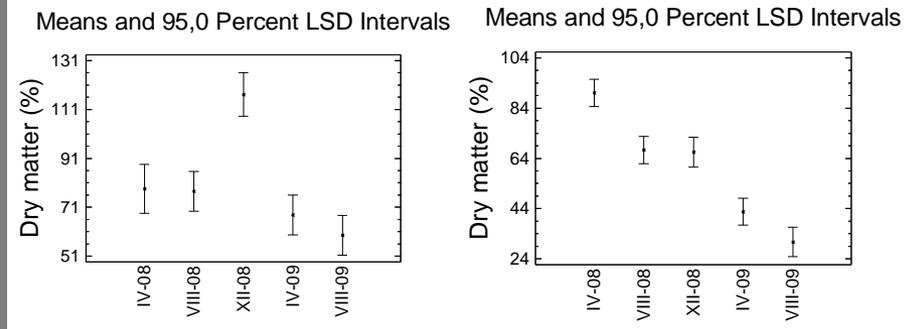
- Análisis de los inputs (fertilización, riegos y control de malas hierbas) desde la perspectiva económica y ambiental (ACVs)

Environmental, energy and economic analysis of a biomass supply chain based on a poplar short rotation coppice in Spain. Journal of Cleaner Production (2015) 94:93-101

- Ciclo de nutrientes: balance del C edáfico ↔ mineralización biomasa de hojas



Evolución de la materia seca, C, N, P, K



Sitio de ensayo Soria

Sitio de ensayo Madrid

Equation 1: Soria
 $DM (g) = 7.124 - 0.373 \cdot P / (MT + 10)$
 $R = -0.52 (p < 0.05)$

Equation 2: Madrid
 $DM (g) = 14.021 - 0.946 \cdot P / (MT + 10)$
 $R = -0.64 (p < 0.05)$

Impacto ambiental asociado al manejo

- Fitorremediación (aguas residuales, lodos de depuradora, suelos contaminados con metales...)
- Paisaje y biodiversidad
- **Evaluación del efecto sumidero (raíces)**



Cuantificación de la acumulación de carbono y de CO₂ equivalente en sistemas radicales de chopo en cultivo en alta densidad

- Entre el 12.4 and 17.3 % del total de C se almacenó en la fracción de biomasa correspondiente a la raíz
- 0.86 to 0.91 t C ha⁻¹ yr⁻¹



Producciones y Modelos predictivos de biomasa

$$RMSE (g) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_{y_i} - \hat{p}_{y_i})^2}{n}}$$

$$W_{\text{under_estimated belowground}} = a * d_{\text{broken tip}}^b + \epsilon$$

$$pseR^2 = r_{y_i \hat{y}_i}^2$$

Necesidad de conocer de manera fiable la disponibilidad de biomasa forestal a escala nacional y de territorio así como también predecir la biomasa susceptible de ser obtenida a partir de cultivos forestales para garantizar el suministro en el tiempo y en el espacio

$$W_{\text{under_estimated belowground}} = a * d_{\text{broken tip}}^b + \epsilon$$

$$pseR^2 = r_{y_i \hat{y}_i}^2$$

$$RMSE (g) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_{y_i} - \hat{p}_{y_i})^2}{n}}$$

$$W_{\text{under_estimated belowground}} = a * d_{\text{broken tip}}^b + \epsilon$$

$$W_{\text{under_estimated belowground}} = a * d_{\text{broken tip}}^b + \epsilon$$

Estimación de costes

Impacto local: precios del suelo, precios del agua etc..

Impacto de la tecnología de la maquinaria

Plantación y mantenimiento: Optimización de costes en el medio plazo

Ayudas no se contemplan

Precios de la biomasa



*El Acierto de los **Cultivos Forestales** dependerá de la eficacia de la investigación, el desarrollo, la innovación y la tecnología respetando **el principio de sostenibilidad.***
Kanowski (2002)



La viabilidad de los cultivos de chopo en corta rotación es posible en el medio plazo

Es necesario incrementar la I+D para mejorar la producción y la adecuación medioambiental de tal forma que mejore la viabilidad económica en un contexto de sostenibilidad