"ECOFISIOLOGÍA FORESTAL: AVANCES EN EL ESTUDIO DEL ESTADO HÍDRICO EN PLANTACIONES LOCALES"

Ing. Agr. (Mag.) José Gándara
Departamento de Biología Vegetal
Laboratorio de Fisiología Vegetal
Facultad de Agronomía, UdelaR

jgandara@fagro.edu.uy

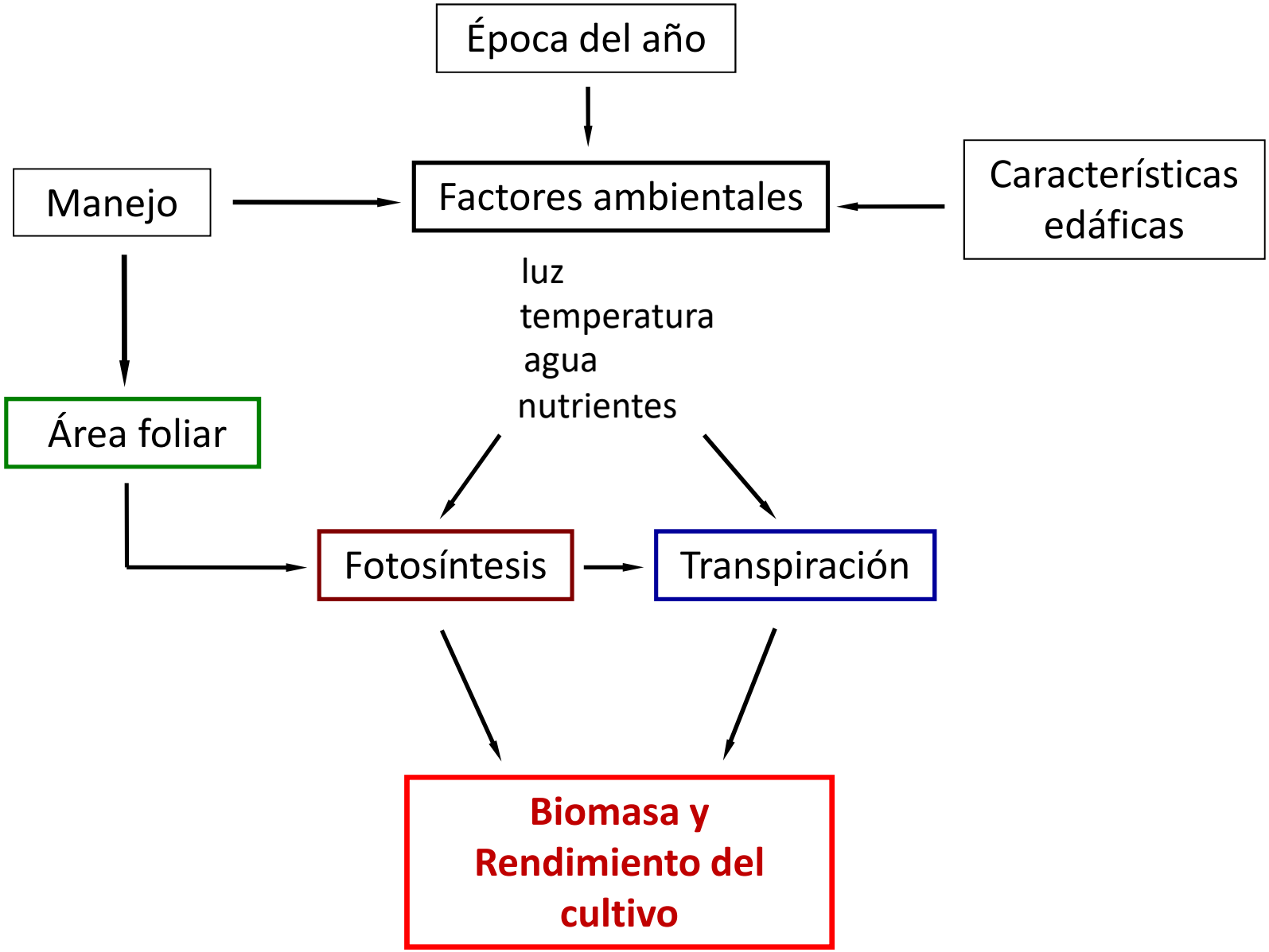
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

FACULTAD DE AGRONOMIA
UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA

Jornada Técnica Forestal, INIA
9 de Noviembre de 2016

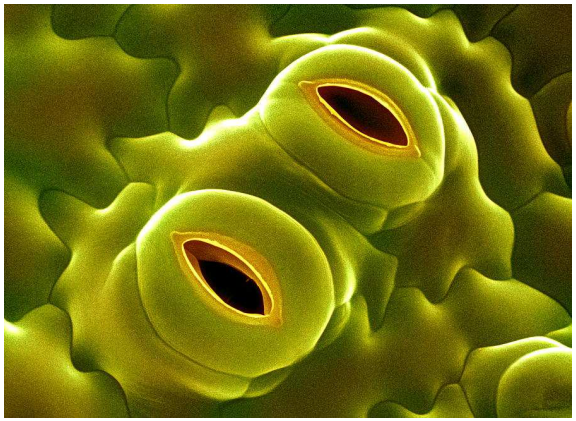
Contenido

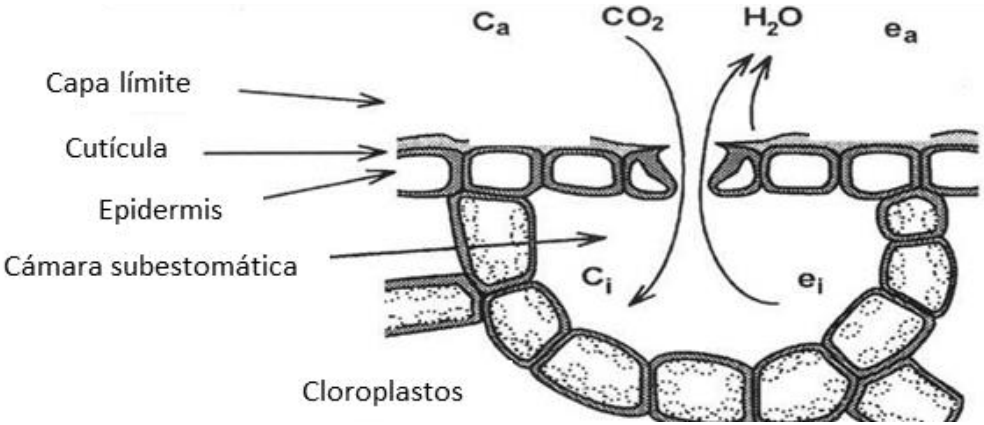
- **Introducción**
  - Estado hídrico
  - Parámetros ecofisiológicos
  - Técnicas de medición
- **Caso de estudio**
  - Estado hídrico y manejo en *Pinus taeda*
- **Desafíos a futuro**


Época del año
Manejo
Factores ambientales
Características edáficas
luz
temperatura
agua
nutrientes
Área foliar
Fotosíntesis
Transpiración
Biomasa y Rendimiento del cultivo

Introducción

Proceso de intercambio gaseoso





- Ingreso de CO_2, salida de agua
- Más de 80% de H_2O se evapora
- Evaporación en estomas provoca tensión en xilema

TRANSPIRACIÓN

Potencial hídrico (Ψw):
Parámetro que refleja la capacidad energética del agua, se expresa en MPa y es menor a cero

Explica el movimiento de agua en el sistema suelo-planta-atmósfera

Cámara de presión
(bomba de Schölander)

Leñosas regulan su actividad traspiratoria en función del Ψw foliar
Es un indicador de nivel de estrés

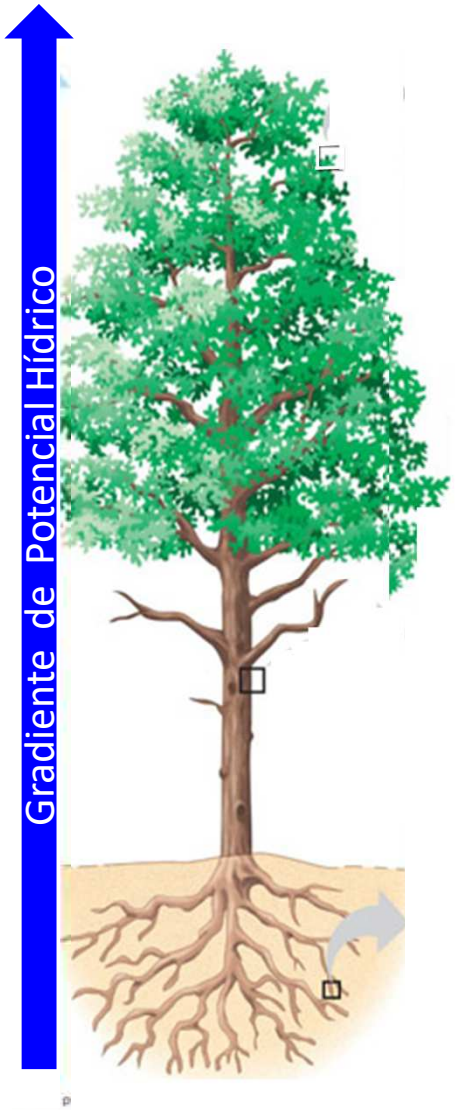
Dinámica del agua en el sistema

- **Transpiración** provoca una **reducción del Ψw** foliar

  Ψwbase: previo al amanecer, Indicador pot. hídrico del suelo

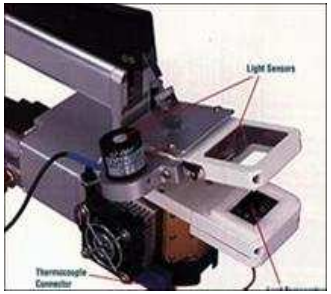
  Ψwmediodía: indica contenido agua en momentos de **máx. transpiración**

ΔΨw (Ψbase - Ψmediodía)
Estimador act. transpiratoria



Parámetros fotosintéticos:
Fotosíntesis Neta (A), Conductancia estomática (gs), Transpiración (E)

Análisis de gases por infrarrojo



Equipo IRGA Li-Cor 6400®

Conductancia estomática (gs)

Porómetro

Decagon Devices®

EFICIENCIA EN EL USO DE AGUA

$$\textbf{EUA} = \frac{\text{Fotosíntesis Neta (Asimilación Neta)}}{\text{Tasa Transpiratoria o } \textbf{conductancia estomática}}$$

EUA a nivel de hoja (instantánea e intrínseca)

$$\textbf{EUA} = \frac{\text{Biomasa producida (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{Volumen agua transpirada (kg o L ha}^{-1}\text{)}}$$

EUA en términos de cultivo o sistema

Caso de estudio:

Estudio del estado hídrico y actividad fotosintética en un rodal de *Pinus taeda*

Tesis Maestría en Ciencias Agrarias: "CURSO ESTACIONAL DEL ESTADO HÍDRICO, CRECIMIENTO Y ACTIVIDAD FOTOSINTÉTICA EN UN RODAL DE *Pinus taeda* L. EN URUGUAY" (2008-2010) Gándara, J.

Tesis de grado (2010-2011) Estellano, V. y Santín, M.
(2011-2012) Pechi, E. y Ramírez, N.

Apoyo: INIA

"CURSO ESTACIONAL DEL ESTADO HÍDRICO, CRECIMIENTO Y ACTIVIDAD FOTOSINTÉTICA EN UN RODAL DE *Pinus taeda* L. EN URUGUAY"

Objetivo General

Conocer la dinámica espacial y temporal del estado hídrico y crecimiento luego del manejo precomercial (raleo y poda)

Objetivos específicos

- Estudiar la **dinámica estacional del potencial hídrico** foliar y sus variaciones debido a características edáficas y manejo silvícola
- Conocer la relación entre la **tasa de crecimiento relativo y el estado hídrico** (gradiente de potencial hídrico), analizando efectos de sitio y manejo
- Analizar el curso estacional del **índice de área foliar** (IAF) estudiando los efectos del sitio, manejo y estado hídrico
- Estudiar los efectos de estos factores sobre la **tasa fotosintética** en la primavera posmanejo

Materiales y métodos

Sitio

Ensayos cuencas, Tacuarembó predio "La Corona" Weyerhaeuser S. A. (S 31º 38' 09", W 55º 41' 48").

Rodal 5 años

Densidad: 1000 árb ha^{-1}

Espaciamiento: 4 x 2,5 m

Parcelas 314 m^2

Sitios 1 y 2: suelos profundos (1,20 m horizonte A), textura gruesa, buen drenaje.

Sitio 3: suelos superficiales (0,20 m horizonte A), textura fina, drenaje pobre

Manejo silvícola

Se **raleó el 40%** de los árboles (mayo/2008) y se **podó el 50%** de copas remanentes
Seleccionaron 2 árb/parcela
Parcelas **control** contiguas a las **tratadas**

Medición potencial hídrico

Potencial hídrico en acículas de 1 año
Previo al amanecer **(Ψbase)** y al mediodía **(Ψmd)**

- El Ψmd se midió en 3 alturas (3, 5 y 7 m)
- Se obtuvo el gradiente **ΔΨ (Ψb - Ψmd)**

Actividad fotosintética

- Tasa fotosintética (A) y conductancia estomática (gs) en tercio superior de copa 2 árb/parcela entre 11:30 y 15:30 hs.
- Se calculó eficiencia uso de agua **(EUA = A/gs)**

Índice de área foliar (IAF) de las parcelas c/90 días

Variables meteorológicas

Temperatura
Humedad del aire
Precipitaciones
Velocidad viento
Radiación solar

Se calculó:

Dpv *(Allen 1998),*

ETR *(Penman Monteith-FAO)* y déficit de ETR

Análisis estadístico

MLG medidas repetidas en el tiempo *(SP-POW).*

$$Y_{ijklm} = \mu + sitio_i + tratamiento_j + fecha_l + E_{ijk} + (sitio*tratamiento)_{ij} + tratamiento*fecha)_{jl} + E_{ijkl} + (sitio*tratamiento*fecha)_{ijl} + E_{ijklm}$$

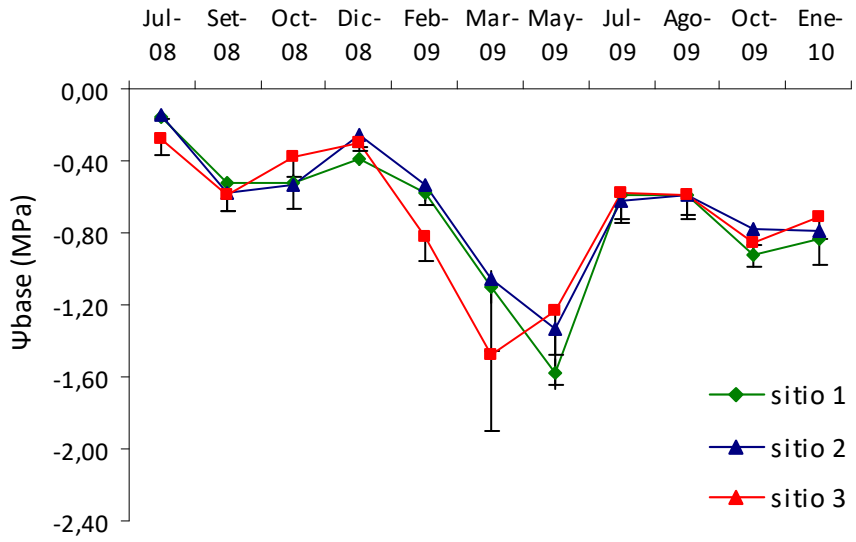
ANAVA : sitio como bloque y árbol como repetición

Contraste de medias: Tukey-Krammer y DMS *($p<0,05$)*

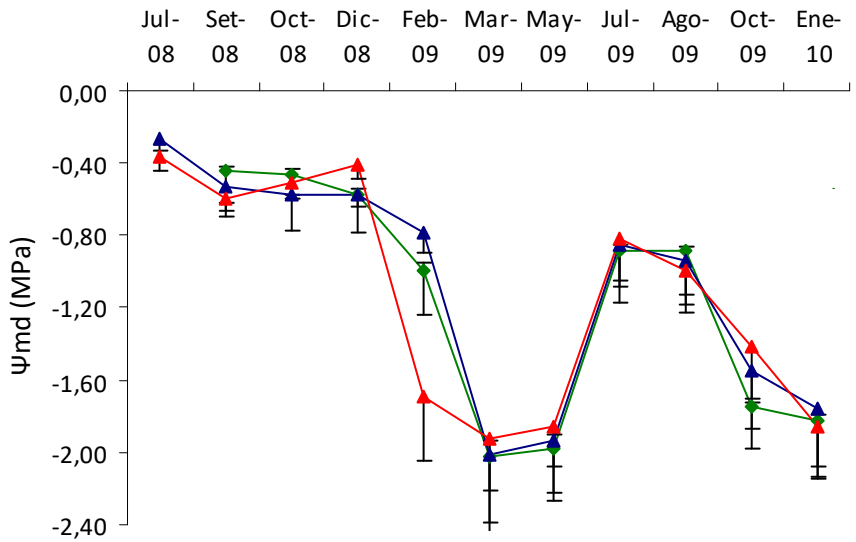
Análisis de polinomios segmentados

Resultados

Potencial hídrico base



Potencial hídrico mediodía



- **Potencial base:** efecto fecha, sitio y tratamiento.

  Estacionalidad: mínimos verano otoño, máximos invierno-primavera

  Disminución en 2do año: Déficit agua en el suelo habría determinado estos valores

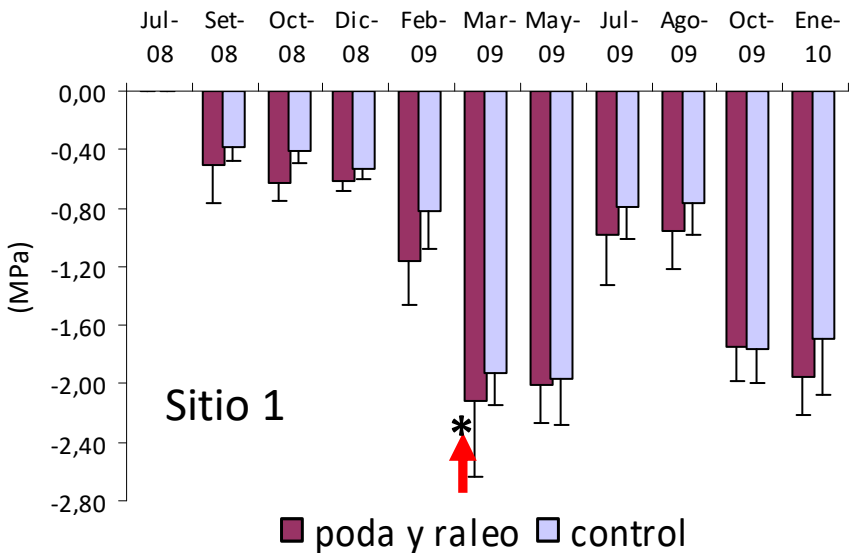
- **Pot. mediodía:** efecto fecha, tratamiento, sitio*trat*fecha.

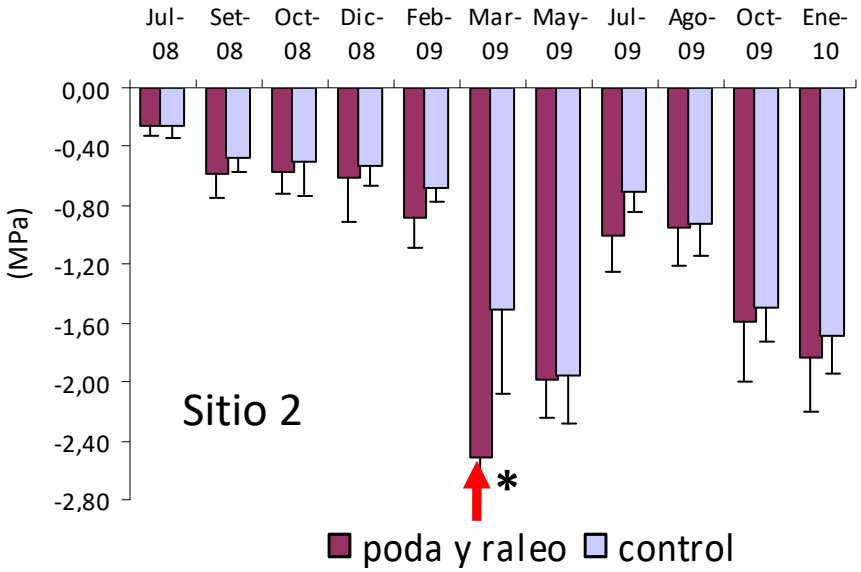
  Mínimos en verano-otoño, por una mayor actividad transpiratoria

  En el **sitio 3** (suelos superficiales) los **valores disminuyeron antes**

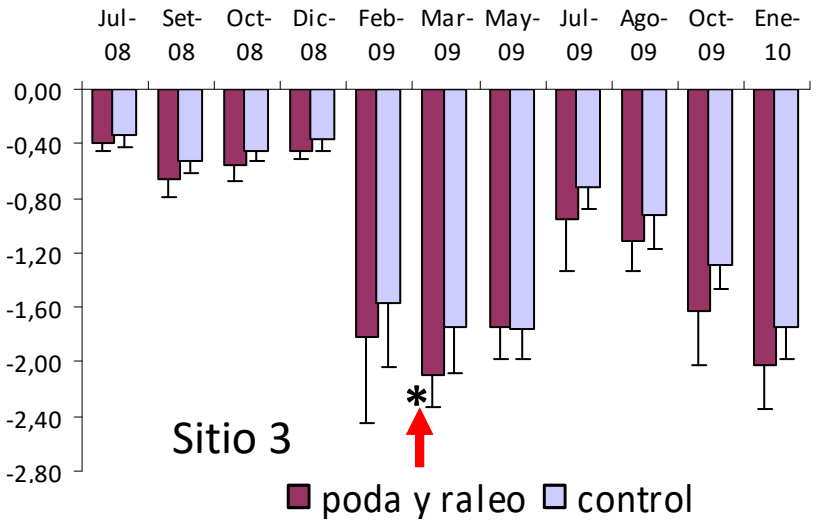
  Altura en el dosel no modificó el Ψmd

Potencial hídrico mediodía: interacción tratamiento *fecha

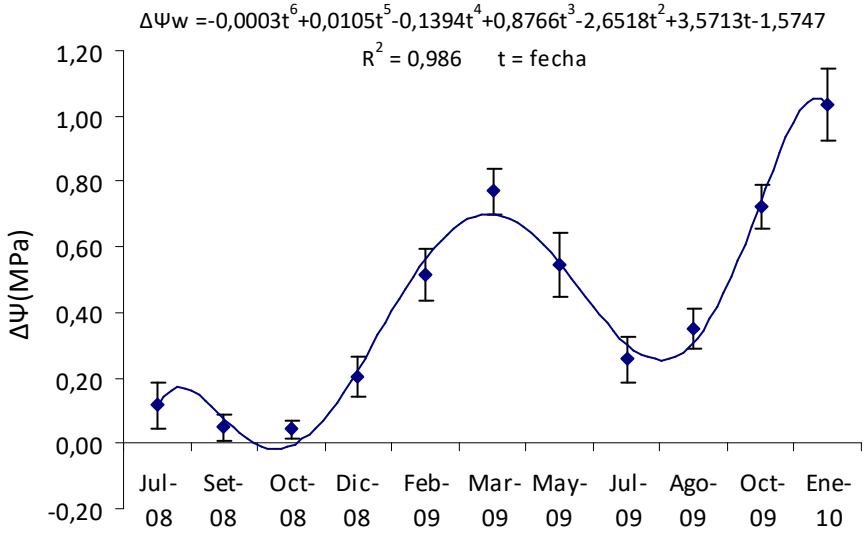




- **Manejo redujo Ψmediodía** un año pos tratamiento.
- En sitio 3, asociado a disminución del agua en suelo.

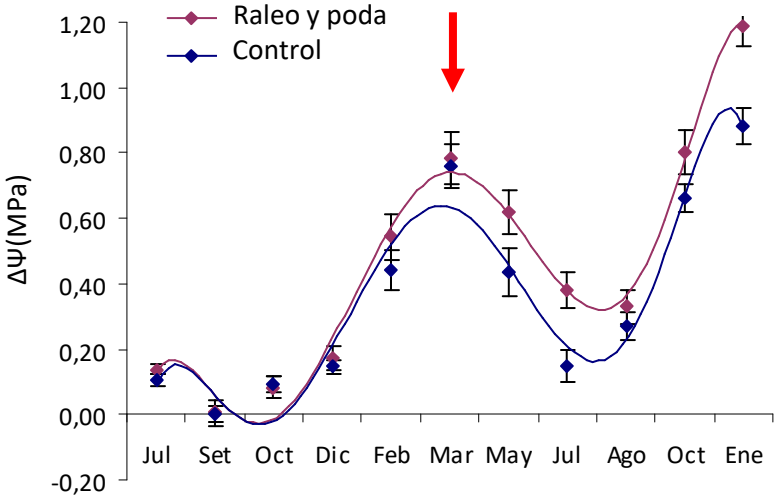


Gradiente de potencial hídrico (ΔΨw)



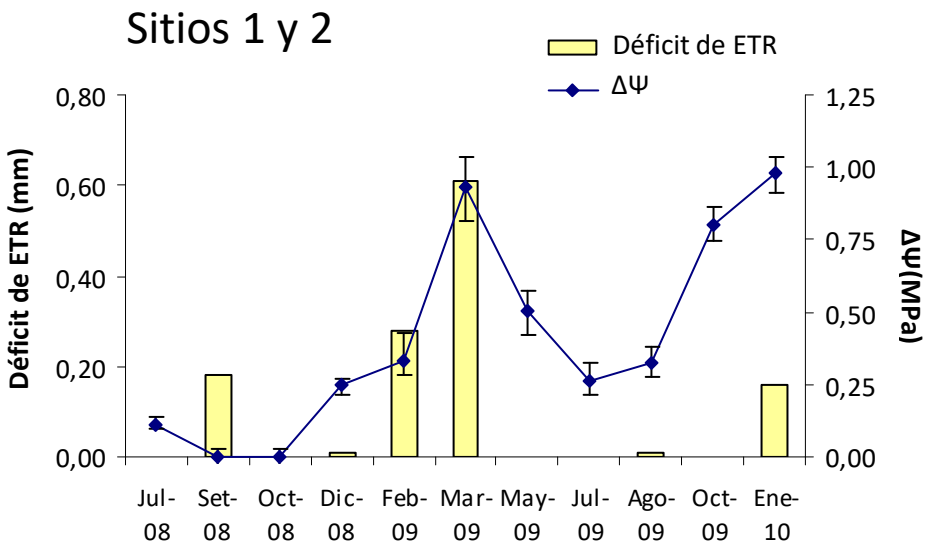
- El gradiente ΔΨw permaneció relativamente constante en ciclos estacionales.
- Mayor act. transpiratoria durante elevados Dpv

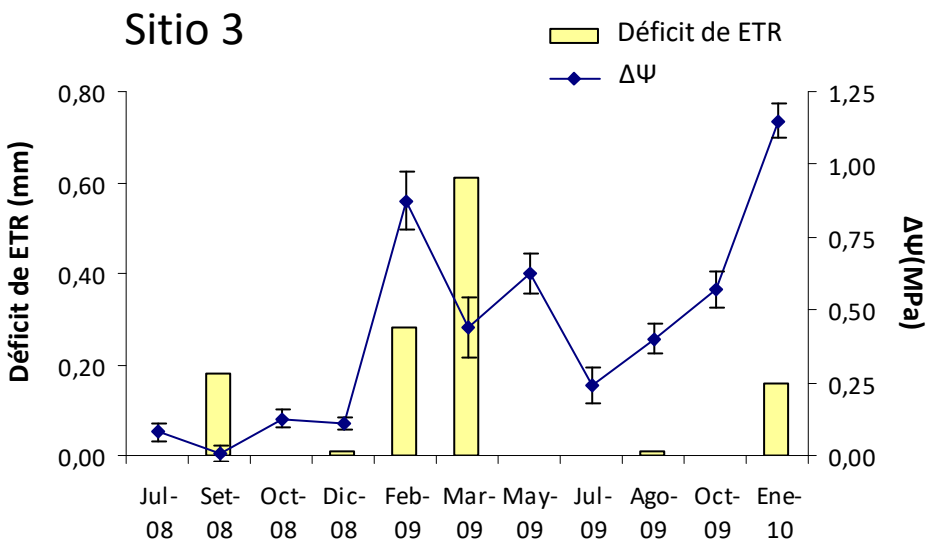
Efecto tratamiento



- Parcelas manejadas presentaron mayor ΔΨw durante el segundo año del estudio
- Asociado a una **mayor actividad transpiratoria**

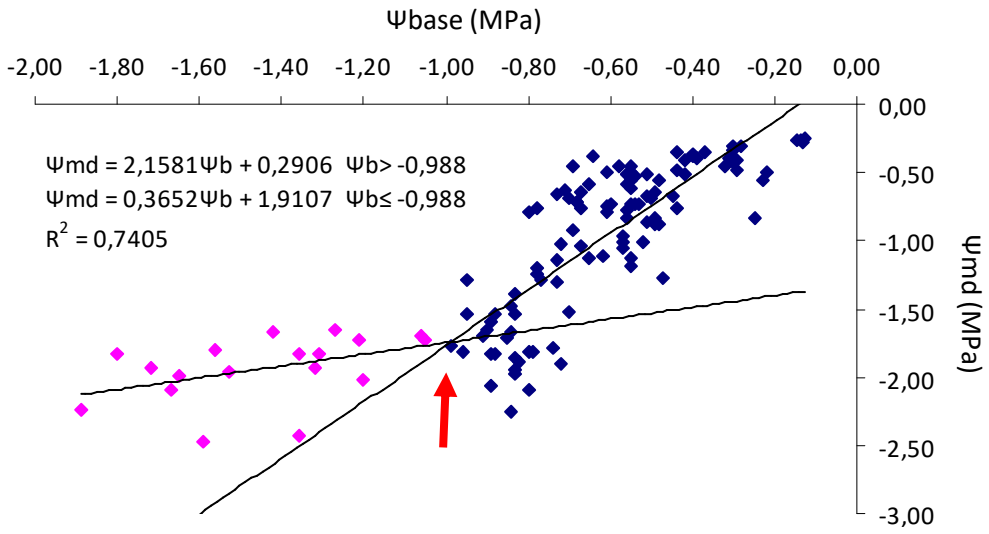
Gradiente de potencial hídrico y Déficit de Evapotranspiración Relativa (ETR)

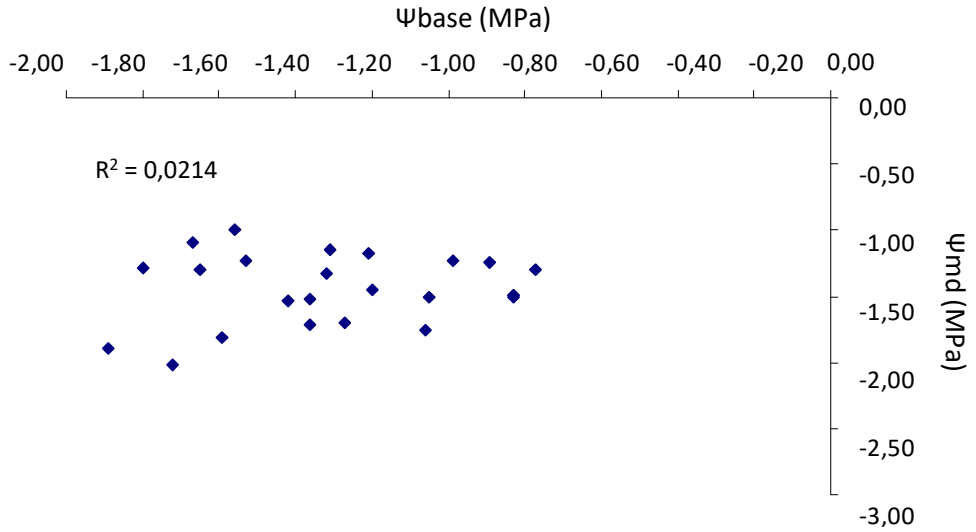




- Curso del ΔΨw fue similar en los 3 sitios
- **Déficit de ETR** fue máximo en marzo, **mayor estrés** por falta de agua
- En sitio 3 el ΔΨw fue la mitad que en los otros sitios.
- Probablemente, se activaron **mecanismos de control de la act. transpiratoria**

Relación entre Ψbase y Ψmediodía





- Este comportamiento se observó en los 3 sitios y no fue afectado por el manejo
- Punto de corte (0,99 MPa). Importancia fisiológica: **regulación estomática**

Durante período con déficit hídrico:

- **No existió asociación entre Ψbase y Ψmd**
- Ocurrió en los 3 sitios
- Ψmd próximo al cierre estomático

Modelos segmentados para cada combinación sitio*tratamiento

	Sitio	Tratamiento	Modelo		R^2
Suelos profundos	1	raleo y poda	$\Psi md = 2{,}751\Psi b + 0{,}699$	$\Psi b > -1{,}020$	0,75
			$\Psi md = -0{,}111\Psi b + 2{,}220$	$\Psi b \leq -1{,}020$	
		control	$\Psi md = 2{,}516\Psi b + 0{,}398$	$\Psi b > -0{,}880$	0,86
			$\Psi md = 0{,}151\Psi b - 1{,}683$	$\Psi b \leq -0{,}880$	
	2	raleo y poda	$\Psi md = 1{,}627\Psi b + 0{,}079$	$\Psi b < 0$	0,70
		control	$\Psi md = 2{,}715\Psi b + 0{,}071$	$\Psi b > -1{,}150$	0,80
			$\Psi md = 0{,}283\Psi b - 1{,}220$	$\Psi b \leq -1{,}150$	
Suelo superficial	3	raleo y poda	$\Psi md = 2{,}023\Psi b + 0{,}182$	$\Psi b > -0{,}850$	0,55
			$\Psi md = 0{,}529\Psi b - 0{,}998$	$\Psi b \leq -0{,}850$	
		control	$\Psi md = 1{,}676\Psi b + 0{,}084$	$\Psi b < 0$	0,72

Área foliar

- Efecto sitio, tratamiento y fecha
- **Reducción del IAF por manejo fue mayor en el sitio 3** (71% vs 57%) y su recuperación fue más lenta
- IAF parcelas manejadas igualó al control en la última fecha, excepto en el sitio 3

Sitio	Tratamiento	May-08	Dic-08	Mar-09	Jul-09	Dic-09
1	raleo y poda	1,20 b	1,32 b	1,70 b	1,72 b	2,59 a
	control	2,60 a	2,55 a	2,87 a	2,36 a	3,07 a
2	raleo y poda	0,90 b	1,37 b	3,45 b	2,58 b	2,23 a
	control	2,31 a	2,62 a	1,72 a	3,36 a	2,91 a
3	raleo y poda	0,46 b	0,55 b	1,18 b	1,77 b	0,75 b
	control	1,40 a	2,25 a	1,76 a	0,63 a	2,16 a
	Promedio	1,41	1,78	2,11	2,07	2,29
	D.E.	0,66	0,75	0,78	0,85	0,76
	C.V. (%)	46,66	42,44	37,06	40,87	33,3

Tasa de Crecimiento del IAF

Reducida por manejo en sitio 3

Actividad fotosintética (A)

- Tasa fotosintética superior a lo esperado (10 - 17 µmolCO2 m^{-2} s^{-1}).
- Similares a los obtenidos en el sur de Brasil (Souza et al 2010).
- Efecto sitio, valores superiores en sitio 3.

Sitio	Tratamiento	A (μCO^2 m^{-2} s^{-1})
1	raleo y poda	17,32 a
	control	10,92 b
2	raleo y poda	10,98 b
	control	15,05 a
3	raleo y poda	15,57 a
	control	16,40 a

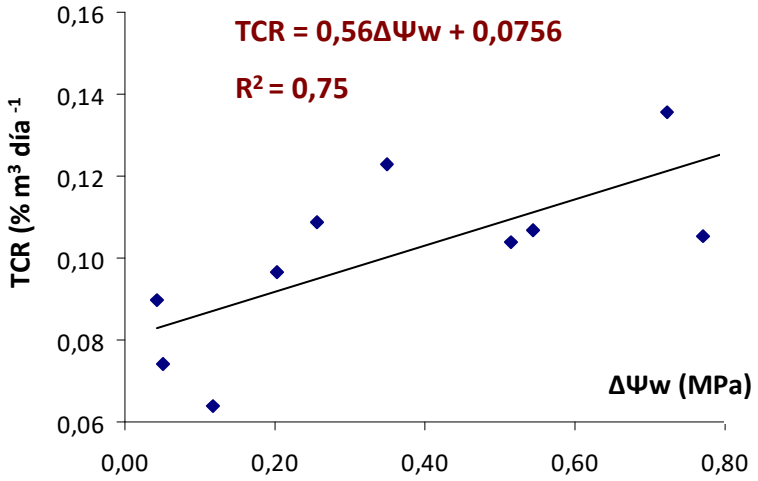
Menor fijación global por menor tamaño de copas

- **Conductancia estomática** (gs) y transpiración acicular (tr) no fueron afectadas por sitio ni tratamiento.

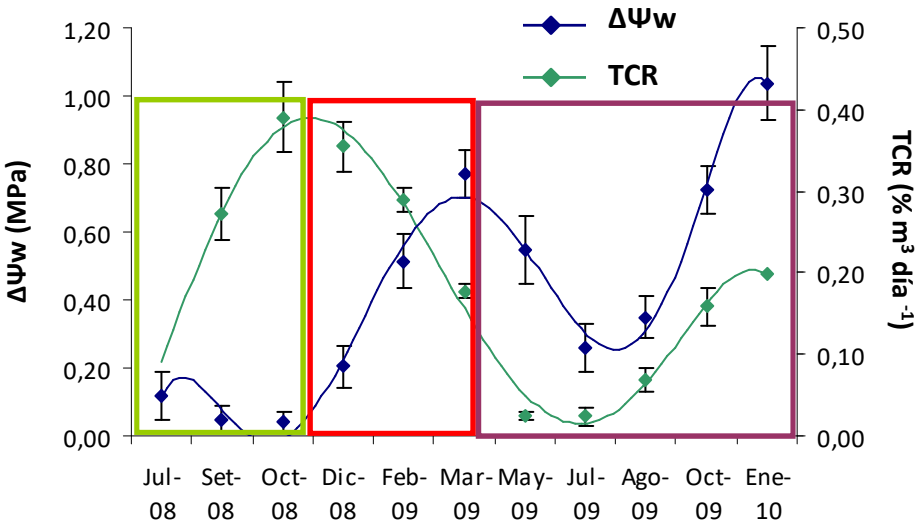
  EUA (A/gs) fue mayor en sitio 3 y no hubo efectos del manejo.

Crecimiento Relativo en Volumen (TCR) y ΔΨw

- Relación lineal directa entre TCR y actividad transpiratoria (ΔΨ)
- El **aumento de TCR** implicó un incremento de la **actividad transpiratoria**



Curso estacional de TCR y ΔΨw



Se observaron 3 comportamientos:

Primavera/08: TCR se incrementó pero ΔΨw permaneció cte.

Verano-otoño/09: TCR disminuyó pero ΔΨw aumentó

Desde otoño/09: ambos parámetros evolucionaron de forma similar

Conclusiones

- **El raleo y la poda redujeron el Ψw durante el período de mayor estrés**. El descenso fue más acentuado en suelos superficiales y se asoció a una disminución de la act. transpiratoria (ΔΨw)
- El **manejo provocó un aumento del ΔΨw** durante el 2do. año, quizás por una mayor act. transpiratoria
- Los **Ψbase y Ψmediodía se correlacionaron linealmente hasta Ψbase ~ -1 MPa**, valores inferiores determinaron un control de la apertura estomática
- **La tasa fotosintética en primavera fue mayor a lo esperado** y no está claro el efecto del manejo
- El **crecimiento relativo (TCR) no fue modificado por sitio ni manejo**. Su curso estacional fue similar, exceptuando el período con déficit hídrico

Otros trabajos:

EFECTO DE LA SEGUNDA PODA EN EL CONTROL DE LA DINÁMICA DEL AGUA EN ÁRBOLES DE *Pinus taeda*

Pechi I, Ramírez N. Tesis de grado Fac. Agronomía. UdelaR. 2013

Análisis de los efectos de la poda sobre el potencial hídrico, conductancia y crecimiento de ramas individuales

Se estudió el crecimiento de rama según orientación (norte vs sur) y según distancia al fuste (proximal vs distal)

ESTUDIO DEL ESTADO HÍDRICO Y EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA EN CLONES DE *Eucalyptus grandis* E HÍBRIDOS INTERESPECÍFICOS

Dellacassa P, Figarola G. Tesis de grado Fac. Agronomía. UdelaR. 2016

Análisis del potencial hídrico y EUA por diferentes metodologías
Estudio de la actividad fotosintética

¡MUCHAS GRACIAS!

Bibliografía consultada

- **Gándara J.** 2013. Curso estacional del estado hídrico, crecimiento y actividad fotosintética en un rodal de *Pinus taeda* en Uruguay. Tesis de Maestría. Facultad de Agronomía, Universidad de la República. 96p.

- **Gándara J, Viega L, Ross S, Munka C, Bentancur O.** 2014. Variación estacional del estado hídrico y crecimiento de *Pinus taeda* L. bajo diferente manejo silvícola en el noreste de Uruguay. *Agrociencia* 18(1): 1-11.

- **Munka C.** 2010. Variación del índice de área foliar y de la evapotranspiración en *Pinus taeda* debido al manejo silvicultural. Tesis de maestría. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 78 p.

- **Pechi E & Ramírez N**. 2013. Efecto de la poda el control de la dinámica del agua en árboles de *Pinus taeda*. Tesis de grado. Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay. 65p.

- **Estellano V & Santín M.** 2012. Evaluación del estado hídrico en árboles individuales de un rodal de *Pinus taeda* y su incidencia sobre el crecimiento. Tesis de grado. Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay. 81 p.

- **Dellacassa P &Figarola G.** 2016. Estudio del estado hídrico y eficiencia en el uso del agua en clones de *Eucalyptus grandis* e híbridos interespecíficos. Tesis de grado. Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay. [En Prensa]