



**HAL**  
open science

## Potencial de adaptación genética del pino oregón a la sequía

Philippe P. Rozenberg, Manuela Ruiz Diaz Britez, Anne-Sophie Sergent,  
Guillermina Dalla Salda, Alejandro Martinez-Meier

► **To cite this version:**

Philippe P. Rozenberg, Manuela Ruiz Diaz Britez, Anne-Sophie Sergent, Guillermina Dalla Salda, Alejandro Martinez-Meier. Potencial de adaptación genética del pino oregón a la sequía. Congreso Argentino de Genética, Sep 2015, Mar del Plata, Argentina. hal-02794896

**HAL Id: hal-02794896**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02794896>**

Submitted on 5 Jun 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



**XLIV**

Congreso Argentino de Genética

13 al 16 Septiembre de 2015

Mar del Plata - República Argentina

# Potencial de adaptación genética del pino oregón a la sequía

P. Rozenberg<sup>1</sup>, M. Ruiz-Diaz-Britez<sup>2</sup>, A. S. Sergent<sup>3</sup>,

G. Dalla-Salda<sup>3</sup>, A. Martinez-Meier<sup>3</sup>,

<sup>1</sup> INRA Val de Loire, Francia

<sup>2</sup> Parque Tecnológico Misiones, Argentina

<sup>3</sup> INTA Bariloche, Argentina



Instituto Nacional de  
Tecnología Agropecuaria



UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES 1

# Genética de los árboles forestales

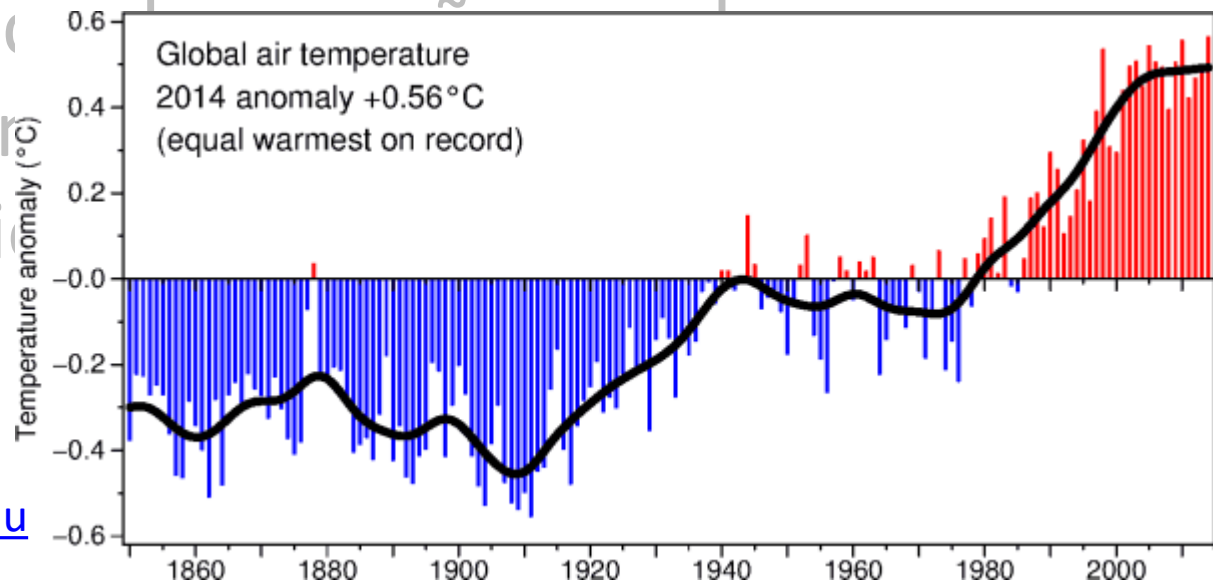
- Muchas especies de alto valor económico
- Domesticación reciente (comparado a las especies agrícolas más importantes)
- Variación genética reflejando la respuesta evolutiva a los medios ambientes nativos
- Experimentación difícil, laboriosa...



# Sequías, decaimientos forestales

- Rápido aumento de la temperatura : consecuencia, aumento de la frecuencia, intensidad y duración de las sequías.

- Desde ha  
decaimier  
de especi  
nativos.



<http://www.cru.uea.ac.uk/>  
09/2015

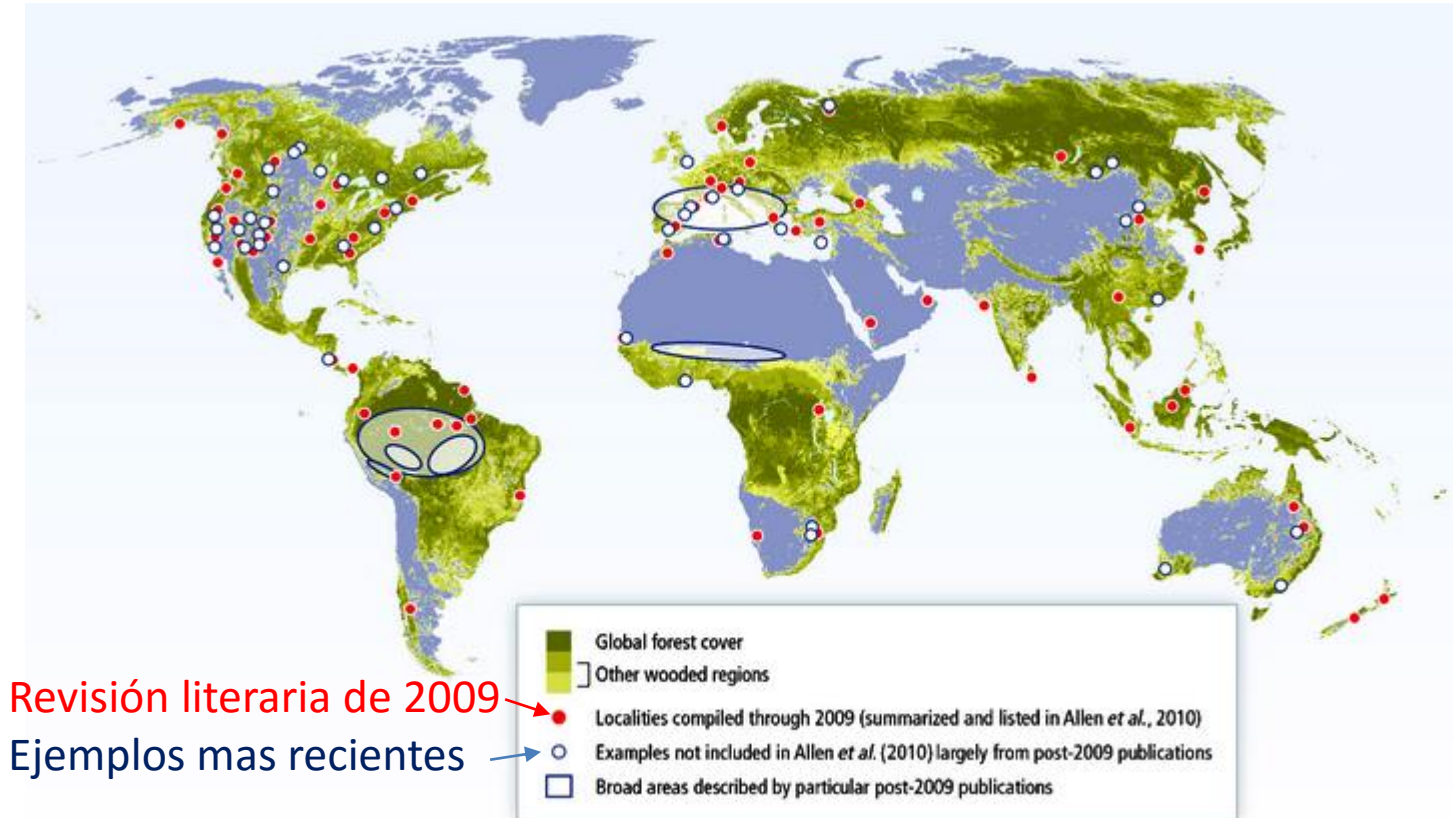
# Decaimientos forestales



Austrocedrus chilensis, Rio Negro, Argentina

- Desde hace algunos años se observan decaimientos forestales, tanto en plantaciones de especies introducidas como en bosques nativos.

# Informes de decaimientos forestales



- Hartmann, Henrik, Henry D. Adams, William R. L. Anderegg, Steven Jansen, et Melanie J. B. Zeppel. 2015. « Research Frontiers in Drought-Induced Tree Mortality: Crossing Scales and Disciplines ». *New Phytologist* 205 (3): 965-69.
- Allen, Craig D., Alison K. Macalady, Haroun Chenchouni, Dominique Bachelet, Nate McDowell, Michel Vennetier, Thomas Kitzberger, et al. 2010. « A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests ». *Forest Ecology and Management* 259 (4): 660-84.
- Settele J, Scholes R, Betts R, Bunn SE, Leadley P, Nepstad D, Overpeck JT, Taboada MA. 2014. Terrestrial and inland water systems. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change*. Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 271–359.

# Principales decaimientos recientes

- Rusia, Incendios forestales 2010: canícula excepcional



# Principales decaimientos recientes

- Rusia, Incendios forestales 2010 : canícula excepcional
- Noroeste de América del norte, desde los años 2000 , infestación catastrófica de insectos (*Dendroctonus ponderosae* « Mountain pine beetle »)





# Principales decaimientos recientes

- Rusia, Incendios forestales 2010: canícula excepcional
- Noroeste de América del norte, desde los años 2000 , infestación catastrófica de insectos (*Dendroctonus ponderosae* « Mountain pine beetle »)
- La relación con el cambio climático esta demostrada:

Klein, Tamir. 2015. « Drought-Induced Tree Mortality: From Discrete Observations to Comprehensive Research ». *Tree Physiology* 35 (3): 225-28. doi:10.1093/treephys/tpv029.

# Sequía, causa identificada de decaimientos...

- ...en bosques tropicales de Amazonia y Borneo

Phillips, Oliver L., Geertje van der Heijden, Simon L. Lewis, Gabriela López-González, Luiz E. O. C. Aragão, Jon Lloyd, Yadvinder Malhi, et al. 2010. « Drought–mortality Relationships for Tropical Forests ». *New Phytologist* 187 (3): 631-46.

- ...en bosques boreales de Canadá

Peng, Changhui, Zihai Ma, Xiangdong Lei, Qian Zhu, Huai Chen, Weifeng Wang, Shirong Liu, Weizhong Li, Xiuqin Fang, et Xiaolu Zhou. 2011. « A Drought-Induced Pervasive Increase in Tree Mortality across Canada's Boreal Forests ». *Nature Climate Change* 1 (9): 467-71.

- ...del ciprés de la Cordillera en Patagonia

Mundo, Ignacio A., Verónica A. El Mujtar, Marcelo H. Perdomo, Leonardo A. Gallo, Ricardo Villalba, et Marcelo D. Barrera. 2010. « *Austrocedrus Chilensis* Growth Decline in Relation to Drought Events in Northern Patagonia, Argentina ». *Trees* 24 (3): 561-70.

- ...del abedul en Siberia

Kharuk, V. I., K. J. Ranson, P. A. Oskorbin, S. T. Im, et M. L. Dvinskaya. 2013. « Climate Induced Birch Mortality in Trans-Baikal Lake Region, Siberia. » *Forest Ecology and Management* 289. doi:10.1016/j.

- ...del pino oregón y abeto en Francia...

Sergent, Anne-Sophie, Philippe Rozenberg, et Nathalie Bréda. « Douglas-fir Is Vulnerable to Exceptional and Recurrent Drought Episodes and Recovers Less Well on Less Fertile Sites ». *Annals of Forest Science* (2012): 1-12.

Cailleret, Maxime, Marie Nourtier, Annabelle Amm, Marion Durand-Gillmann, et Hendrik Davi. 2013. « Drought-Induced Decline and Mortality of Silver Fir Differ among Three Sites in Southern France ». *Annals of Forest Science* 71 (6): 643-57.

# Sequía, causa identificada de decaimientos...

- ...en bosques tropicales de Amazonia y Borneo

Phillips, Oliver L., Geertje van der Heijden, Simon L. Lewis, Gabriela López-González, Luiz E. O. C. Aragão, Jon Lloyd, Yadvinder Malhi, et al. 2010. « Drought–mortality Relationships for Tropical Forests ». *New Phytologist* 187 (3): 631-46.

- ...en bosques boreales de Canadá

Peng, Changhui, Zhihai Ma, Xiangdong Lei, Qian Zhu, Huai Chen, Weifeng Wang, Shirong Liu, Weizhong Li, Xiuqin Fang, et Xiaolu Zhou. 2011. « A Drought-Induced Pervasive Increase in Tree Mortality across Canada's Boreal Forests ». *Nature Climate Change* 1 (9): 467-71.

- ...del ciprés de la Cordillera en Patagonia

Mundo, Ignacio A., Verónica A. El Mujtar, Marcelo H. Perdomo, Leonardo A. Gallo, Ricardo Villalba, et Marcelo D. Barrera. 2010. « *Austrocedrus Chilensis* Growth Decline in Relation to Drought Events in Northern Patagonia, Argentina ». *Trees* 24 (3): 561-70.

- ...del abedul en Siberia

Kharuk, V. I., K. J. Ranson, P. A. Oskorbin, S. T. Im, et M. L. Dvinskaya. 2013. « Climate Induced Birch Mortality in Trans-Baikal Lake Region, Siberia. » *Forest Ecology and Management* 289. doi:10.1016/j.

- ...del pino oregón y abeto en Francia...

Sergent, Anne-Sophie, Philippe Rozenberg, et Nathalie Bréda. « Douglas-fir Is Vulnerable to Exceptional and Recurrent Drought Episodes and Recovers Less Well on Less Fertile Sites ». *Annals of Forest Science* (2012): 1-12.

Cailleret, Maxime, Marie Nourtier, Annabelle Amm, Marion Durand-Gillmann, et Hendrik Davi. 2013. « Drought-Induced Decline and Mortality of Silver Fir Differ among Three Sites in Southern France ». *Annals of Forest Science* 71 (6): 643-57.

# Sequía, causa identificada de decaimientos...

- ...en bosques tropicales de Amazonia y Borneo

Phillips, Oliver L., Geertje van der Heijden, Simon L. Lewis, Gabriela López-González, Luiz E. O. C. Aragão, Jon Lloyd, Yadvinder Malhi, et al. 2010. « Drought–mortality Relationships for Tropical Forests ». *New Phytologist* 187 (3): 631-46.

- ...en bosques boreales de Canadá

Peng, Changhui, Zihai Ma, Xiangdong Lei, Qian Zhu, Huai Chen, Weifeng Wang, Shirong Liu, Weizhong Li, Xiuqin Fang, et Xiaolu Zhou. 2011. « A Drought-Induced Pervasive Increase in Tree Mortality across Canada's Boreal Forests ». *Nature Climate Change* 1 (9): 467-71.

- ...del ciprés de la Cordillera en Patagonia

Mundo, Ignacio A., Verónica A. El Mujtar, Marcelo H. Perdomo, Leonardo A. Gallo, Ricardo Villalba, et Marcelo D. Barrera. 2010. « *Austrocedrus Chilensis* Growth Decline in Relation to Drought Events in Northern Patagonia, Argentina ». *Trees* 24 (3): 561-70.

- ...del abedul en Siberia

Kharuk, V. I., K. J. Ranson, P. A. Oskorbin, S. T. Im, et M. L. Dvinskaya. 2013. « Climate Induced Birch Mortality in Trans-Baikal Lake Region, Siberia. » *Forest Ecology and Management* 289. doi:10.1016/j.

- ...del pino oregón y abeto en Francia...

Sergent, Anne-Sophie, Philippe Rozenberg, et Nathalie Bréda. « Douglas-fir Is Vulnerable to Exceptional and Recurrent Drought Episodes and Recovers Less Well on Less Fertile Sites ». *Annals of Forest Science* (2012): 1-12.

Cailleret, Maxime, Marie Nourtier, Annabelle Amm, Marion Durand-Gillmann, et Hendrik Davi. 2013. « Drought-Induced Decline and Mortality of Silver Fir Differ among Three Sites in Southern France ». *Annals of Forest Science* 71 (6): 643-57.

# Sequía, causa identificada de decaimientos...

- ...en bosques tropicales de Amazonia y Borneo

Phillips, Oliver L., Geertje van der Heijden, Simon L. Lewis, Gabriela López-González, Luiz E. O. C. Aragão, Jon Lloyd, Yadvinder Malhi, et al. 2010. « Drought–mortality Relationships for Tropical Forests ». *New Phytologist* 187 (3): 631-46.

- ...en bosques boreales de Canadá

Peng, Changhui, Zihai Ma, Xiangdong Lei, Qian Zhu, Huai Chen, Weifeng Wang, Shirong Liu, Weizhong Li, Xiuqin Fang, et Xiaolu Zhou. 2011. « A Drought-Induced Pervasive Increase in Tree Mortality across Canada's Boreal Forests ». *Nature Climate Change* 1 (9): 467-71.

- ...del ciprés de la Cordillera en Patagonia

Mundo, Ignacio A., Verónica A. El Mujtar, Marcelo H. Perdomo, Leonardo A. Gallo, Ricardo Villalba, et Marcelo D. Barrera. 2010. « Austrocedrus Chilensis Growth Decline in Relation to Drought Events in Northern Patagonia, Argentina ». *Trees* 24 (3): 561-70.

- ...del abedul en Siberia

Kharuk, V. I., K. J. Ranson, P. A. Oskorbin, S. T. Im, et M. L. Dvinskaya. 2013. « Climate Induced Birch Mortality in Trans-Baikal Lake Region, Siberia. » *Forest Ecology and Management* 289. doi:10.1016/j.

- ...del abeto y pino oregón en Francia...

Sergent, Anne-Sophie, Philippe Rozenberg, et Nathalie Bréda. « Douglas-fir Is Vulnerable to Exceptional and Recurrent Drought Episodes and Recovers Less Well on Less Fertile Sites ». *Annals of Forest Science* (2012): 1-12.

Cailleret, Maxime, Marie Nourtier, Annabelle Amm, Marion Durand-Gillmann, et Hendrik Davi. 2013. « Drought-Induced Decline and Mortality of Silver Fir Differ among Three Sites in Southern France ». *Annals of Forest Science* 71 (6): 643-57.

# Sequía, causa identificada de decaimientos...

- ...en bosques tropicales de Amazonia y Borneo

Phillips, Oliver L., Geertje van der Heijden, Simon L. Lewis, Gabriela López-González, Luiz E. O. C. Aragão, Jon Lloyd, Yadvinder Malhi, et al. 2010. « Drought–mortality Relationships for Tropical Forests ». *New Phytologist* 187 (3): 631-46.

- ...en bosques boreales de Canadá

Peng, Changhui, Zihai Ma, Xiangdong Lei, Qian Zhu, Huai Chen, Weifeng Wang, Shirong Liu, Weizhong Li, Xiuqin Fang, et Xiaolu Zhou. 2011. « A Drought-Induced Pervasive Increase in Tree Mortality across Canada's Boreal Forests ». *Nature Climate Change* 1 (9): 467-71.

- ...del ciprés de la Cordillera en Patagonia

Mundo, Ignacio A., Verónica A. El Mujtar, Marcelo H. Perdomo, Leonardo A. Gallo, Ricardo Villalba, et Marcelo D. Barrera. 2010. « *Austrocedrus Chilensis* Growth Decline in Relation to Drought Events in Northern Patagonia, Argentina ». *Trees* 24 (3): 561-70.

- ...del abedul en Siberia

Kharuk, V. I., K. J. Ranson, P. A. Oskorbin, S. T. Im, et M. L. Dvinskaya. 2013. « Climate Induced Birch Mortality in Trans-Baikal Lake Region, Siberia. » *Forest Ecology and Management* 289. doi:10.1016/j.

- ...del abeto y pino oregón en Francia...

Sergent, Anne-Sophie, Philippe Rozenberg, et Nathalie Bréda. « Douglas-fir Is Vulnerable to Exceptional and Recurrent Drought Episodes and Recovers Less Well on Less Fertile Sites ». *Annals of Forest Science* (2012): 1-12.

Cailleret, Maxime, Marie Nourtier, Annabelle Amm, Marion Durand-Gillmann, et Hendrik Davi. 2013. « Drought-Induced Decline and Mortality of Silver Fir Differ among Three Sites in Southern France ». *Annals of Forest Science* 71 (6): 643-57.

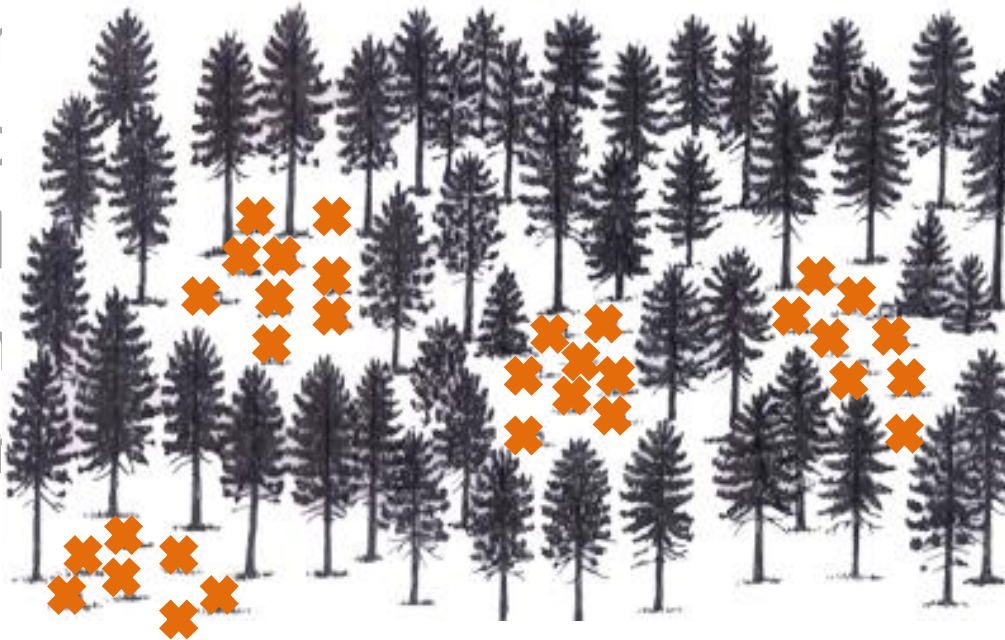
# Características de los eventos de mortalidad

- Aumento del número de observaciones
- Todo tipo de climas
- Aumento de la tasa de mortalidad sobre todo en climas secos
- Dispersos o masivos
- Plantaciones o masas naturales
- Especies introducidas y autóctonas
- *Fracaso de sistemas de producción?...*

# Decaimientos y evolución

- **...o proceso evolutivo de selección natural?**

- Deper  
variac  
hered  
pertin  
decaim  
proce



on, de la  
la  
ptativos  
char el  
lerar el



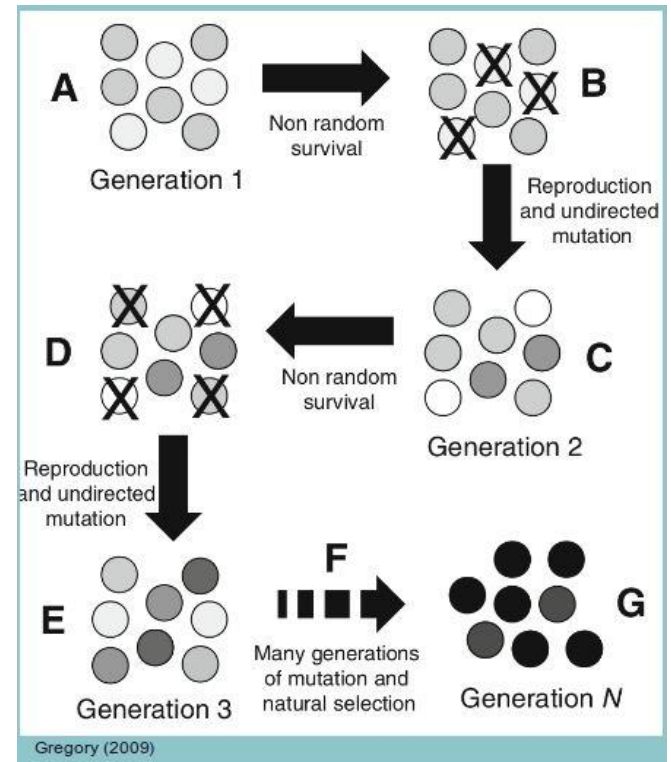
# Decaimientos y evolución

## Dependiendo

- de la tasa de selección,
- de la variación fenotípica y genética
- de la heredabilidad de los caracteres adaptativos pertinentes,

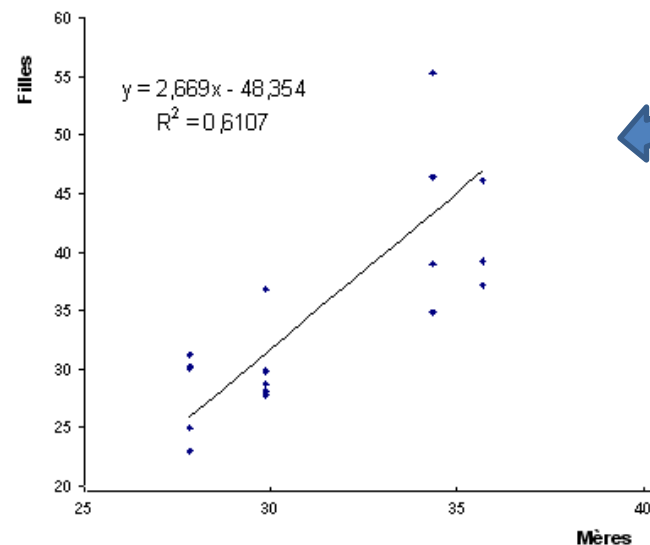
se puede o no aprovechar el decaimiento para acompañar y acelerar el proceso natural de evolución.

<https://bioteaching.files.wordpress.com/2012/03/img19.jpg>



# Decaimientos y adaptación

- La adaptación genética sólo es posible cuando
  - existe variación fenotípica para las características de interés,
  - esta variación tiene un fuerte componente genético, determinado por el grado de heredabilidad



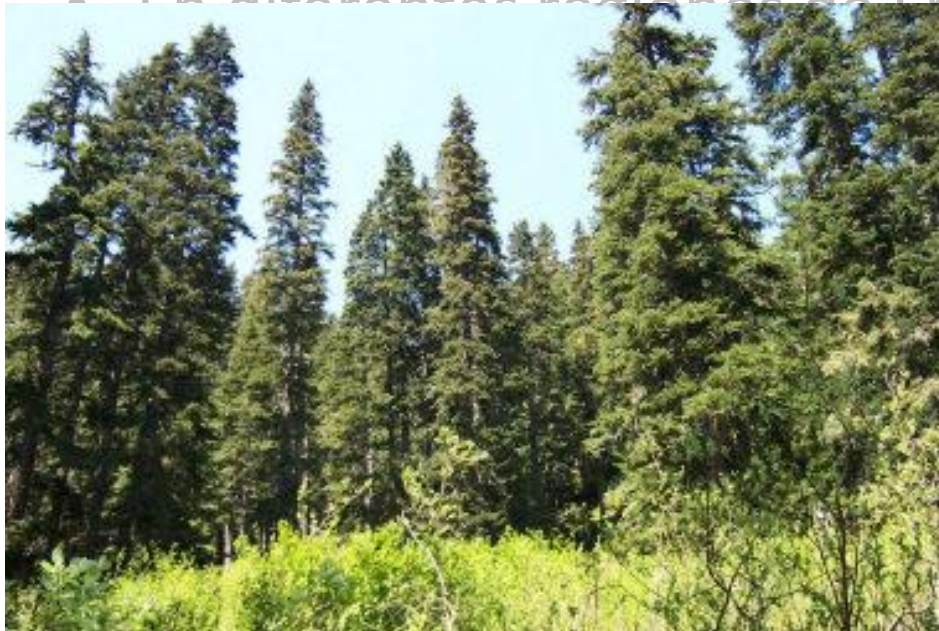
# Especies forestales afectadas por el cambio climático en Argentina y Francia

- Autóctonas:
  - En Argentina: ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*)
  - En Francia: Abeto blanco (*Abies alba*)
  - ...
- Introducidas:
  - En Argentina: Pino ponderosa (*Pinus ponderosa*)
  - En Francia Pino oregón (*Pseudotsuga menziesii*)
  - ...

# Un modelo común en Argentina y Francia

- El pino oregón es plantado en Francia y Argentina,
  - Masivamente en Francia
  - los árboles plantados provienen de huertos semilleros compuestos de genotipos originarios de las regiones costeras de los estados de Washington y Oregón en los Estados Unidos.
- En diferentes regiones de Francia, se han observado decaimientos en los bosques de pino oregón.
- Existe un potencial de adaptación genética a la sequía?

# Un modelo común en Argentina y Francia



Estados Unidos.

- Existe un potencial de adaptación genética a la sequía?

# Caracteres adaptativos para la resistencia a la sequía

- Carácter adaptativo = relación con la “*fitness*”
  - “*Fitness*” = éxito reproductivo global
    - Potencial reproductivo



- Def com
- Relaciones
  - en medir a escala genéticos.
  - entre caracteres fisiológicos implicados en la resistencia a la sequía y caracteres relativamente fáciles de medir (simposio, presentación de M.E. Fernández)
  - entre la supervivencia después de una mortandad provocada por la sequía y caracteres relativamente fáciles de medir

# Caracteres adaptativos para la resistencia a la sequía

- Carácter adaptativo = relación con la “*fitness*”
  - “*Fitness*” = éxito reproductivo global

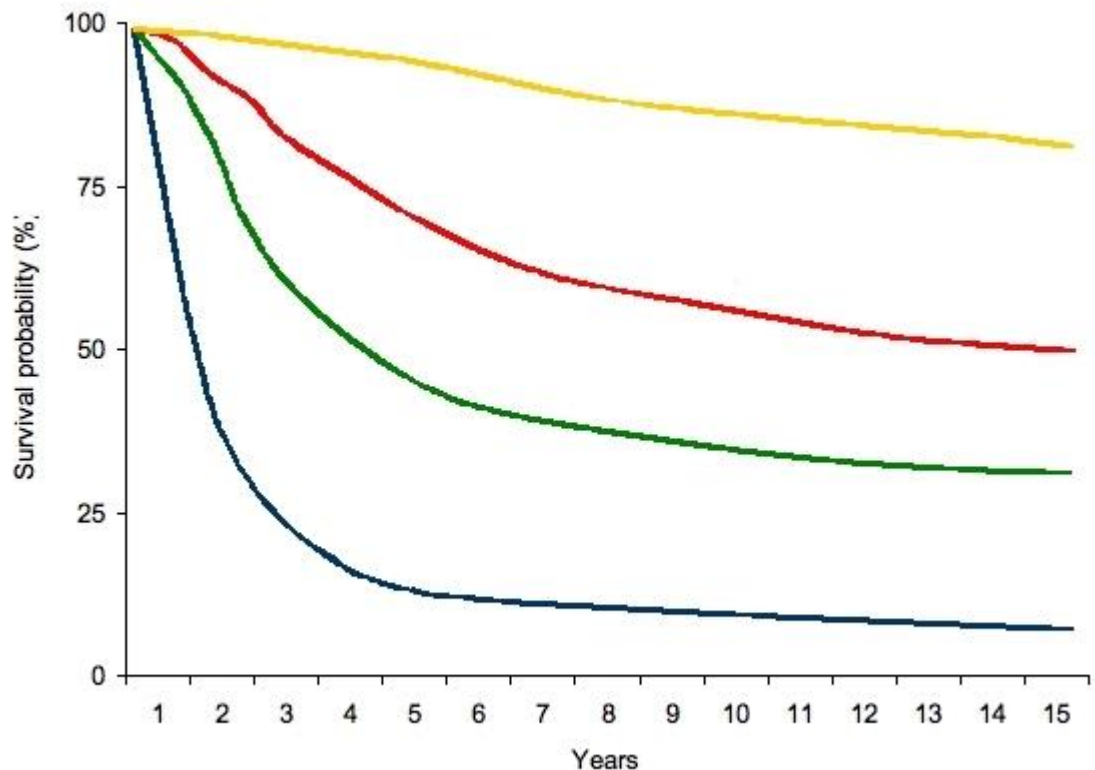
- Potencial reproductivo

- **Supervivencia**

- Definir caracteres de resistencia compatible con una buena supervivencia

- Relaciones

- entre caracteres fisiológicos y la supervivencia (%)
- entre la supervivencia y los caracteres relativamente adaptativos



# Caracteres adaptativos para la resistencia a la sequía

- Carácter adaptativo = relación con la “*fitness*”
  - “*Fitness*” = éxito reproductivo global
    - Potencial reproductivo
    - Supervivencia
- Caracteres de resistencia a la sequía que se pueden medir a *escala compatible con una buena estimación de los parámetros genéticos.*
- Relaciones
  - Con caracteres fisiológicos implicados en la resistencia a la sequía *simposio, presentación de M. E. Fernandez*
  - Con la supervivencia después de una mortandad provocada por la sequía



# Caracteres adaptativos para la resistencia a la sequía

- Carácter adaptativo = relación con la “*fitness*”
  - “*Fitness*” = éxito reproductivo global
    - Potencial reproductivo
    - Supervivencia
- Caracteres de resistencia a la sequía que se pueden medir a *escala compatible con una buena estimación de los parámetros genéticos.*
- Relaciones
  - Con caracteres fisiológicos implicados en la resistencia a la sequía *simposio, presentación de M. E. Fernandez*
  - Con la supervivencia después de una mortandad provocada por la sequía

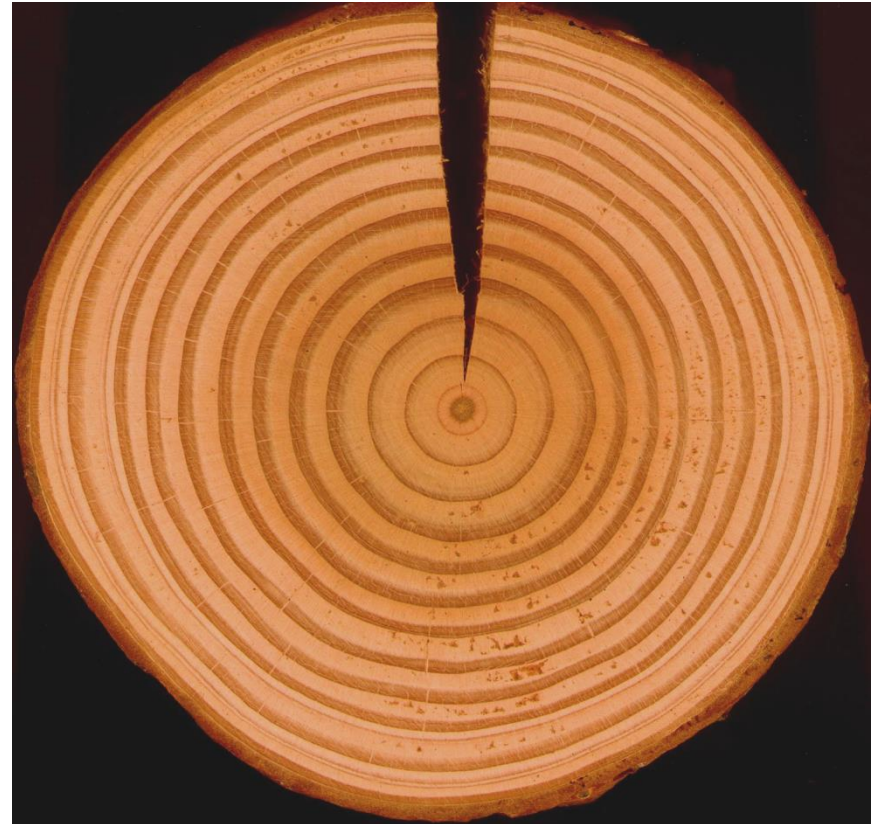
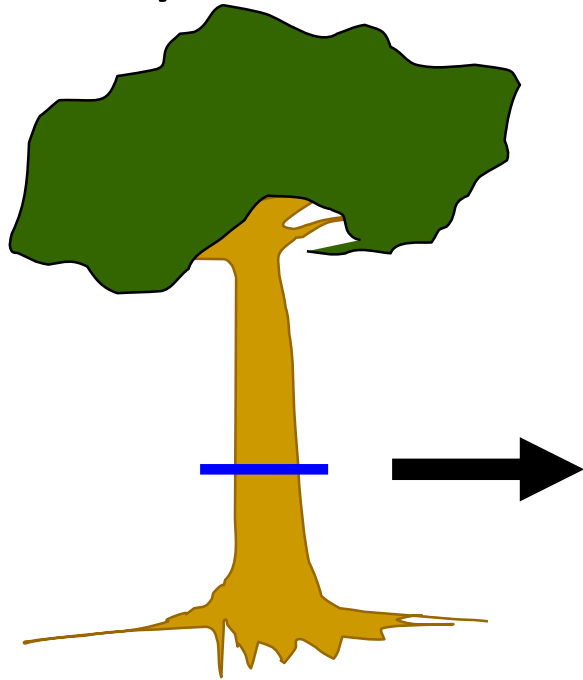
# Comparar árboles vivos y muertos

- Caracteres que se pueden medir tanto en árboles vivos como en árboles muertos:

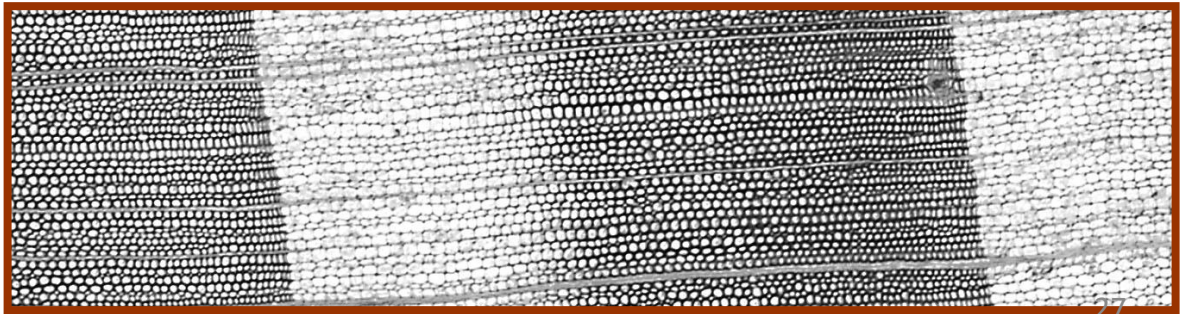
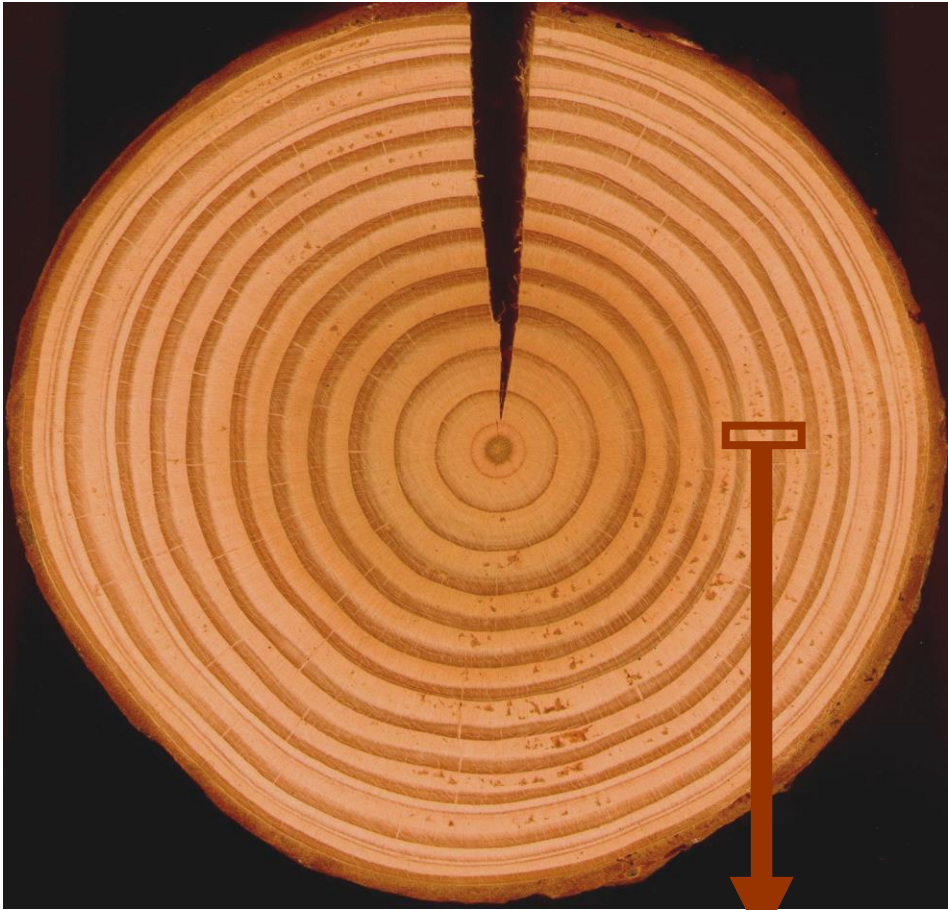


# Comparar árboles vivos y muertos

- Madera y anillos de crecimiento

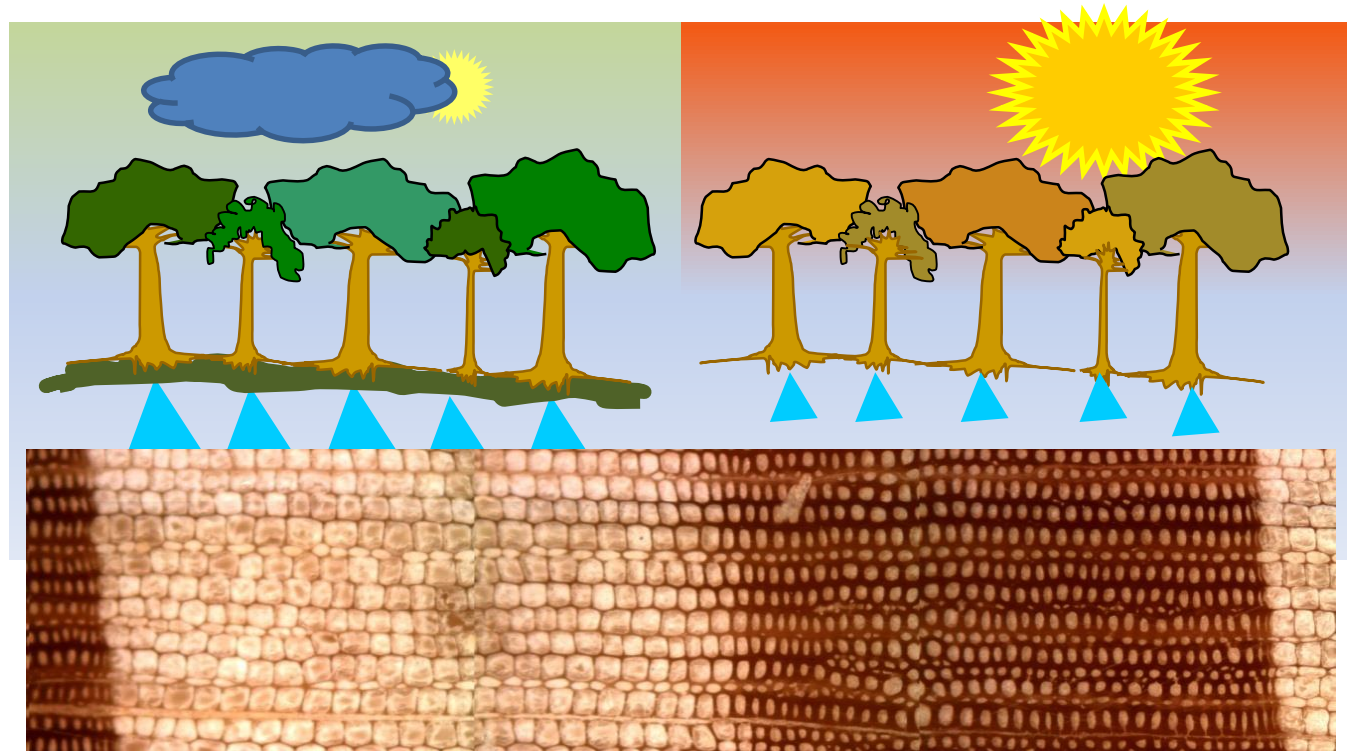


*simposio, presentación de  
A. Martinez-Meier*

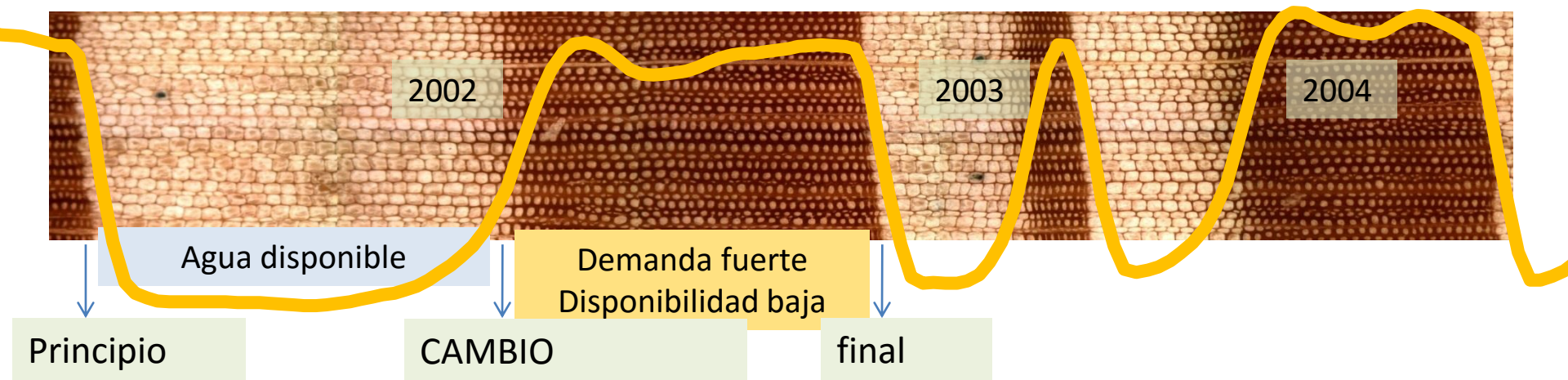


# Los anillos

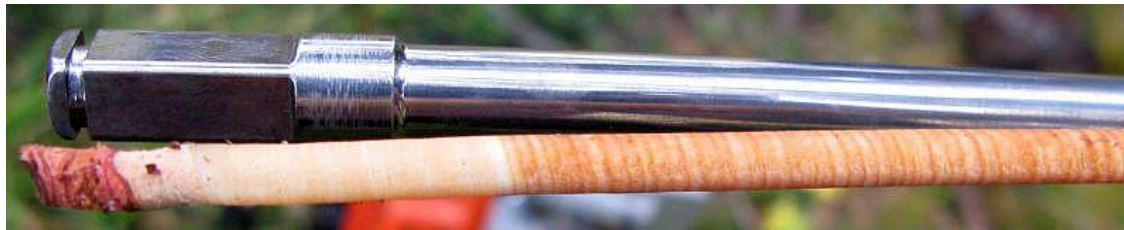
- Un anillo = (un año) una estación de crecimiento
- Funciones
  - Soporte
  - Reservas
  - Conducción
- Acceso retrospectivo



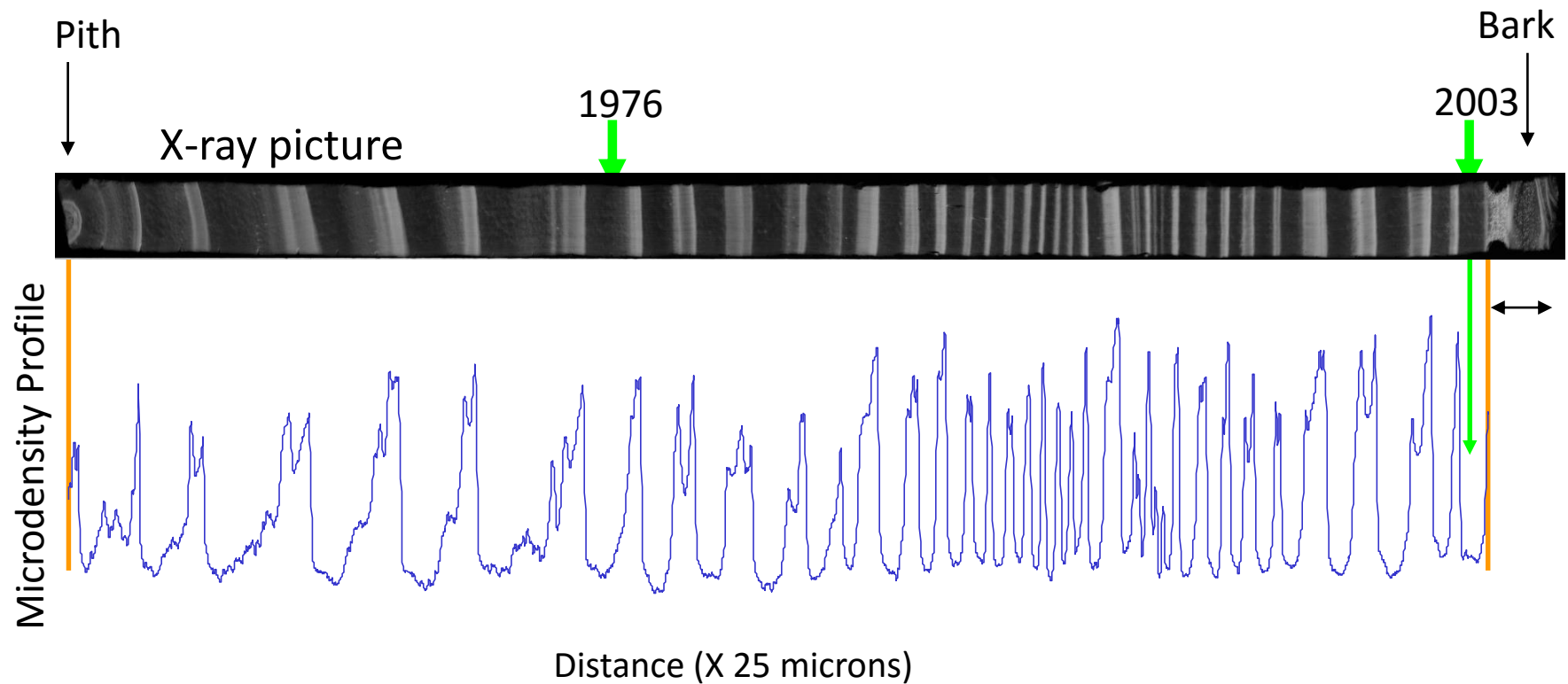
# La microdensidad



# Los « tarugos »



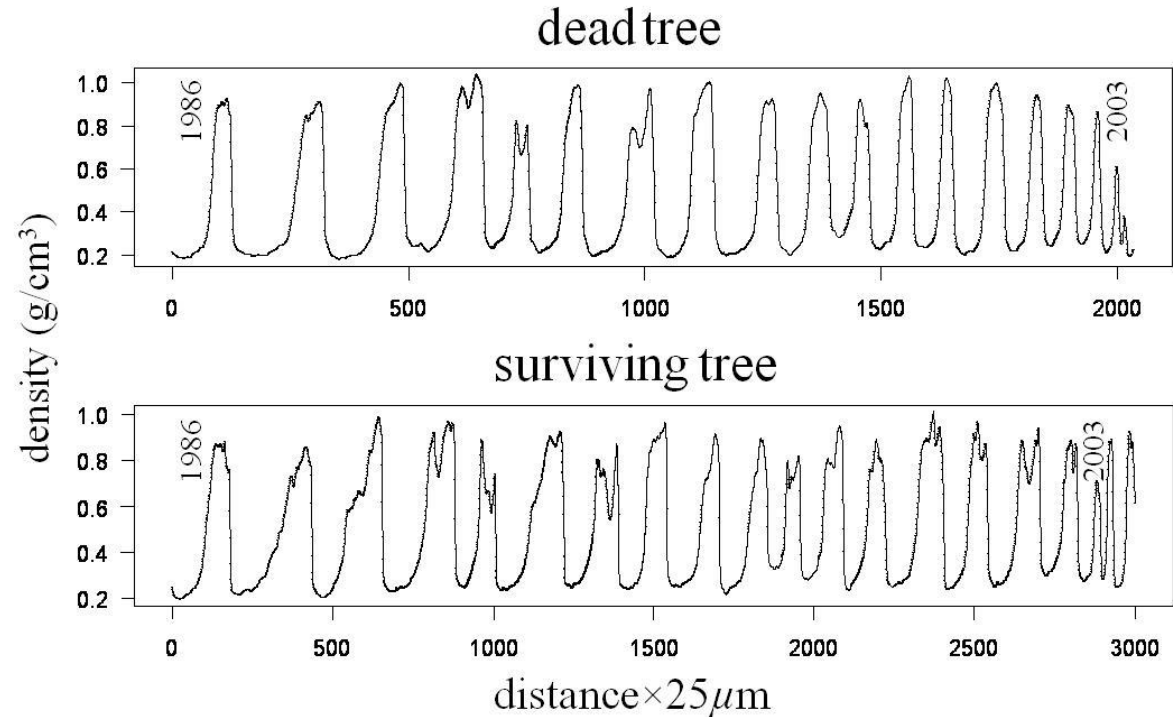
# Perfiles de microdensidad



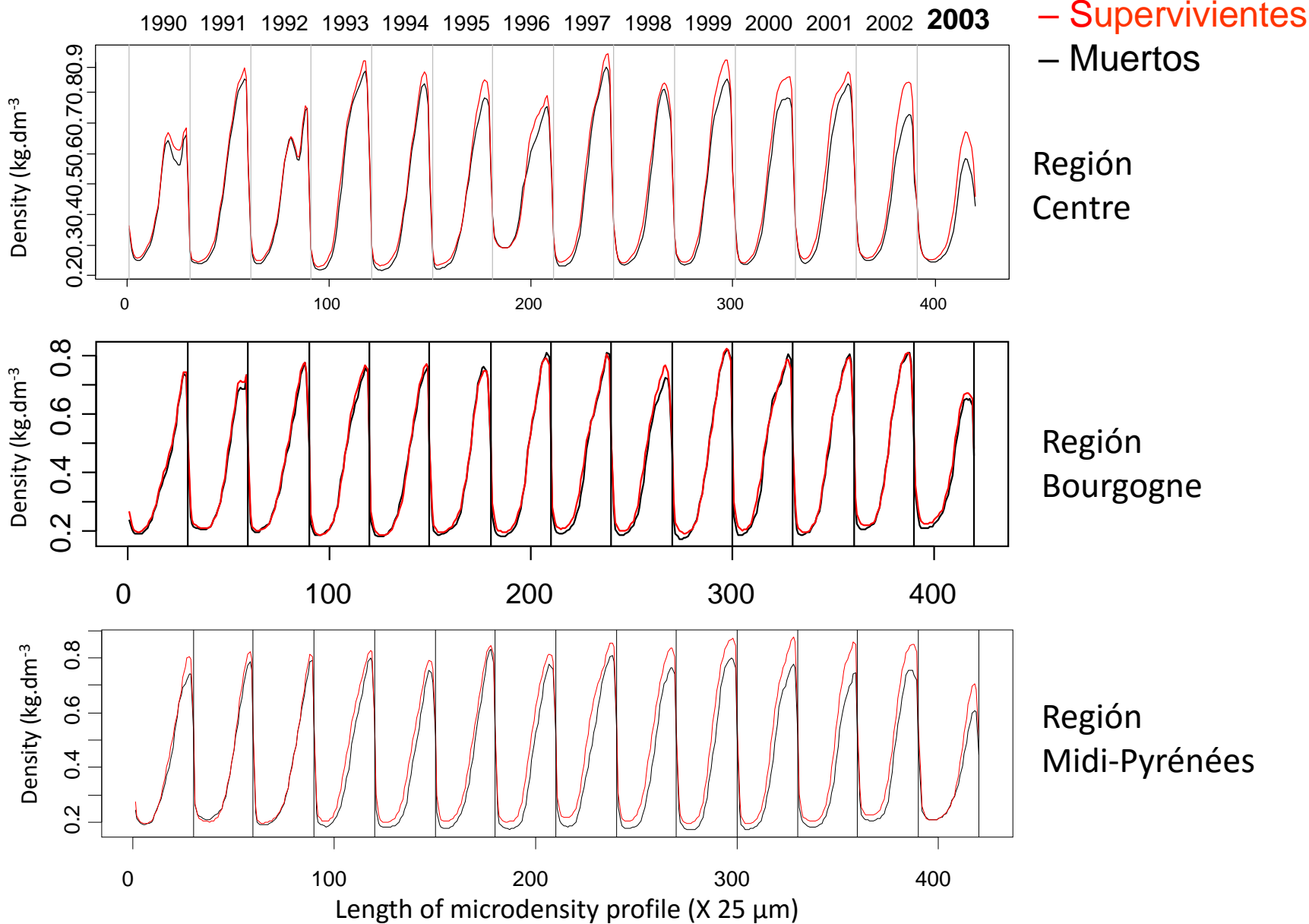


# Perfiles de árboles vivos y muertos

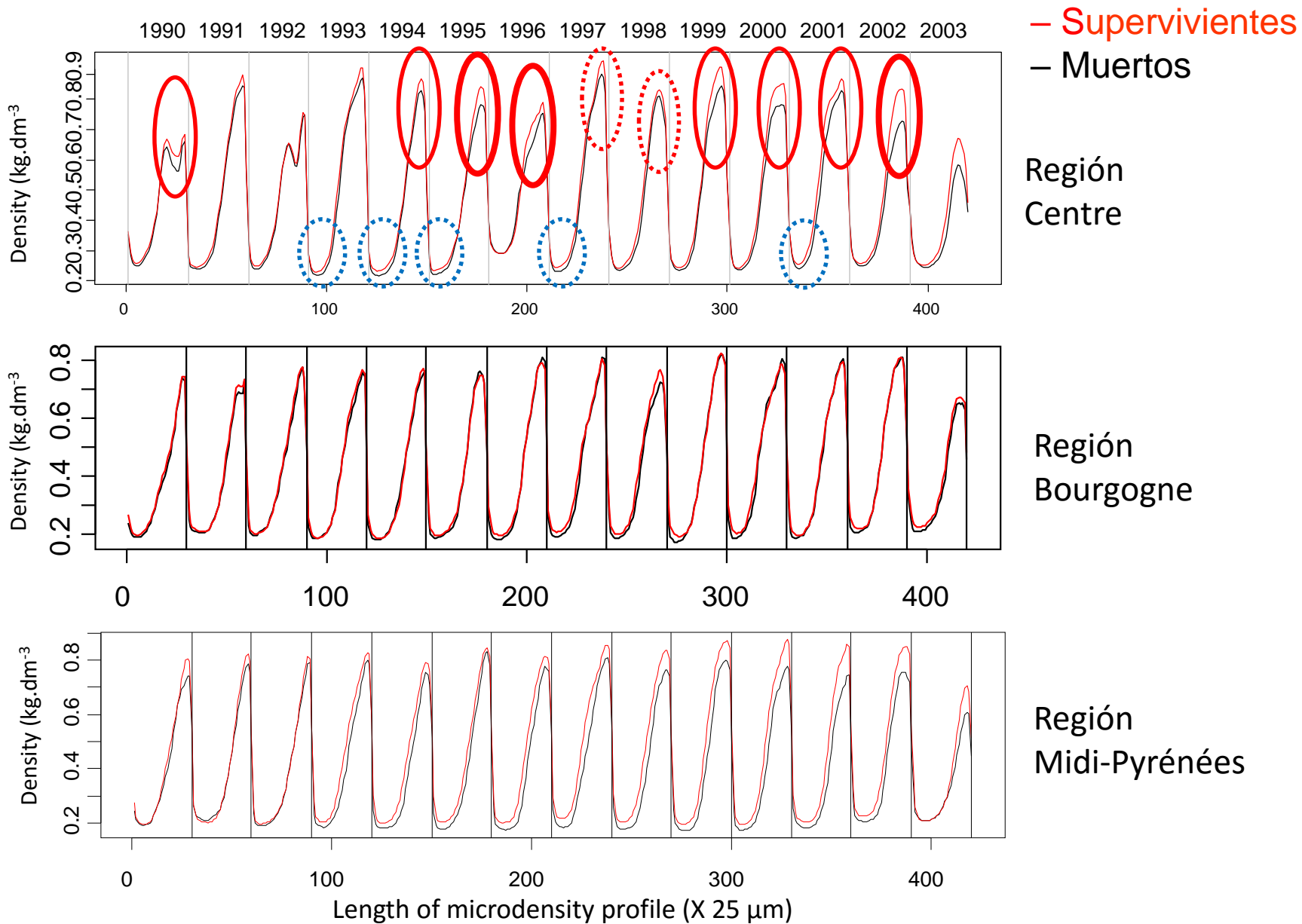
Martinez-Meier, A., L. Sanchez, M. Pastorino, L. Gallo, et P. Rozenberg.  
« What Is Hot in Tree Rings? the Wood Density of Surviving Douglas-firs to the 2003 Drought and Heat Wave. » *Forest Ecology and Management* 256, n° 4 (2008).



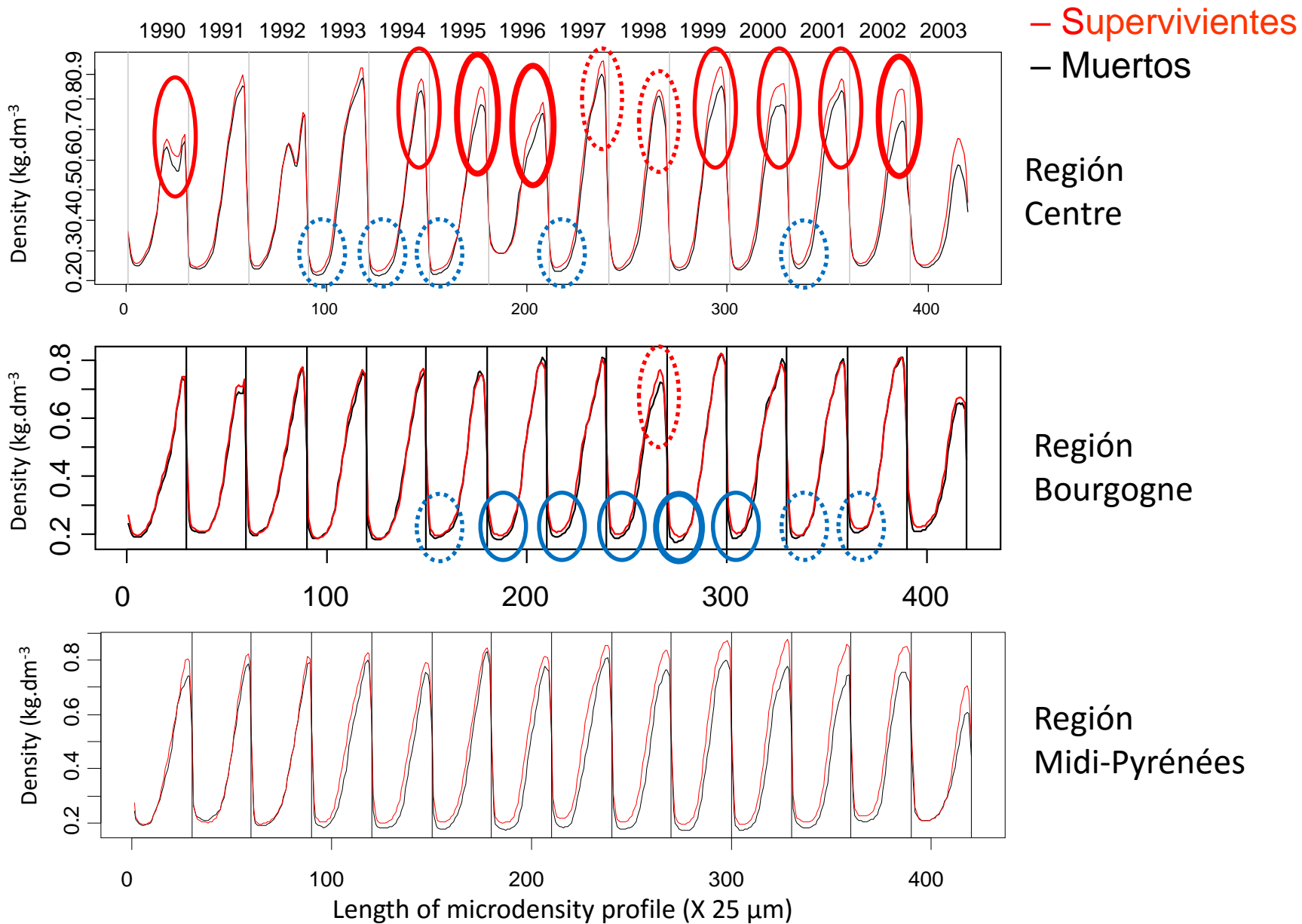
*simposio, presentación de  
A. Martinez-Meier*



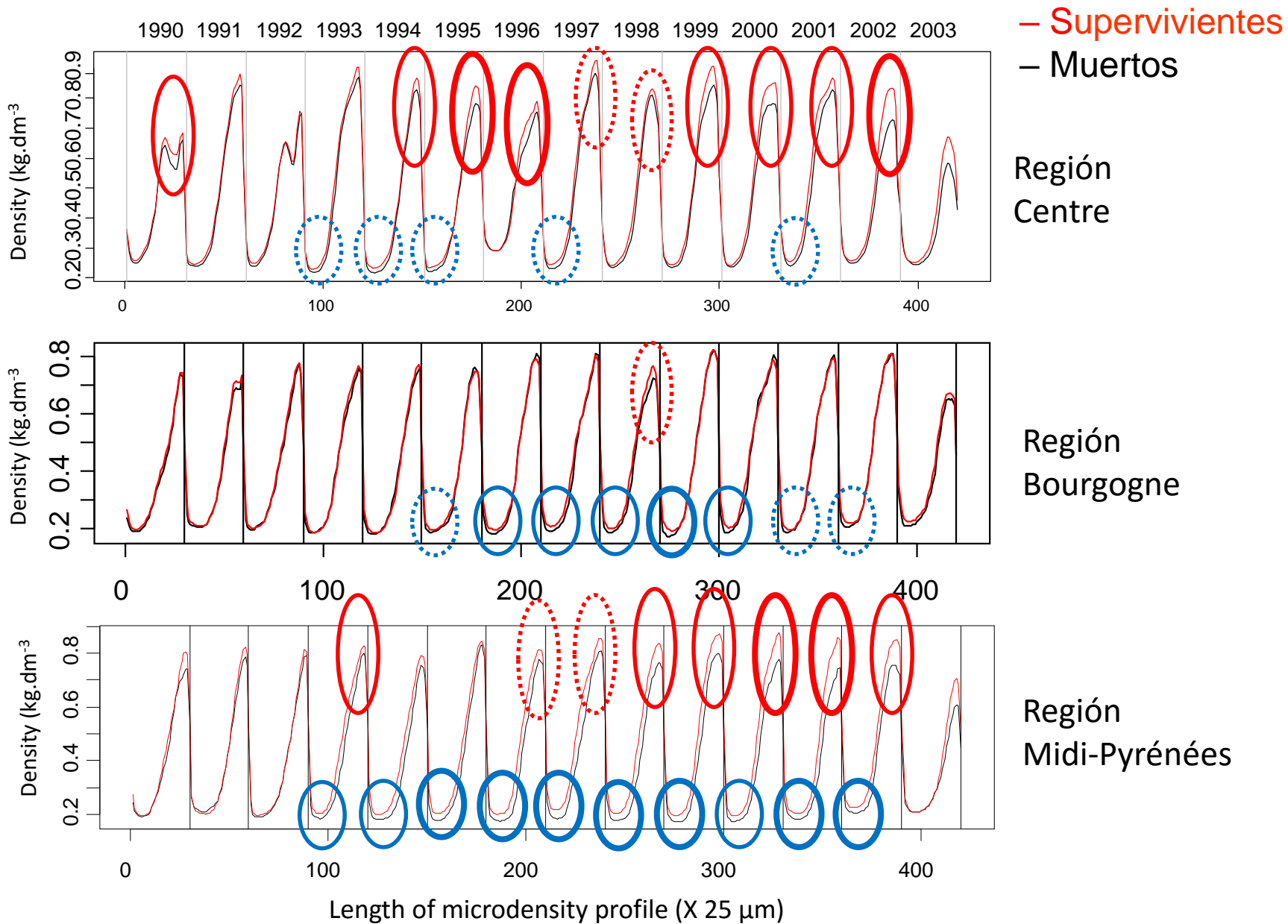
Ruiz Diaz Britez, Manuela, Anne-Sophie Sergent, Alejandro Martinez Meier, Nathalie Bréda, et Philippe Rozenberg. « Wood density proxies of adaptive traits linked with resistance to drought in douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) ». *Trees*, s. d., 1-16.



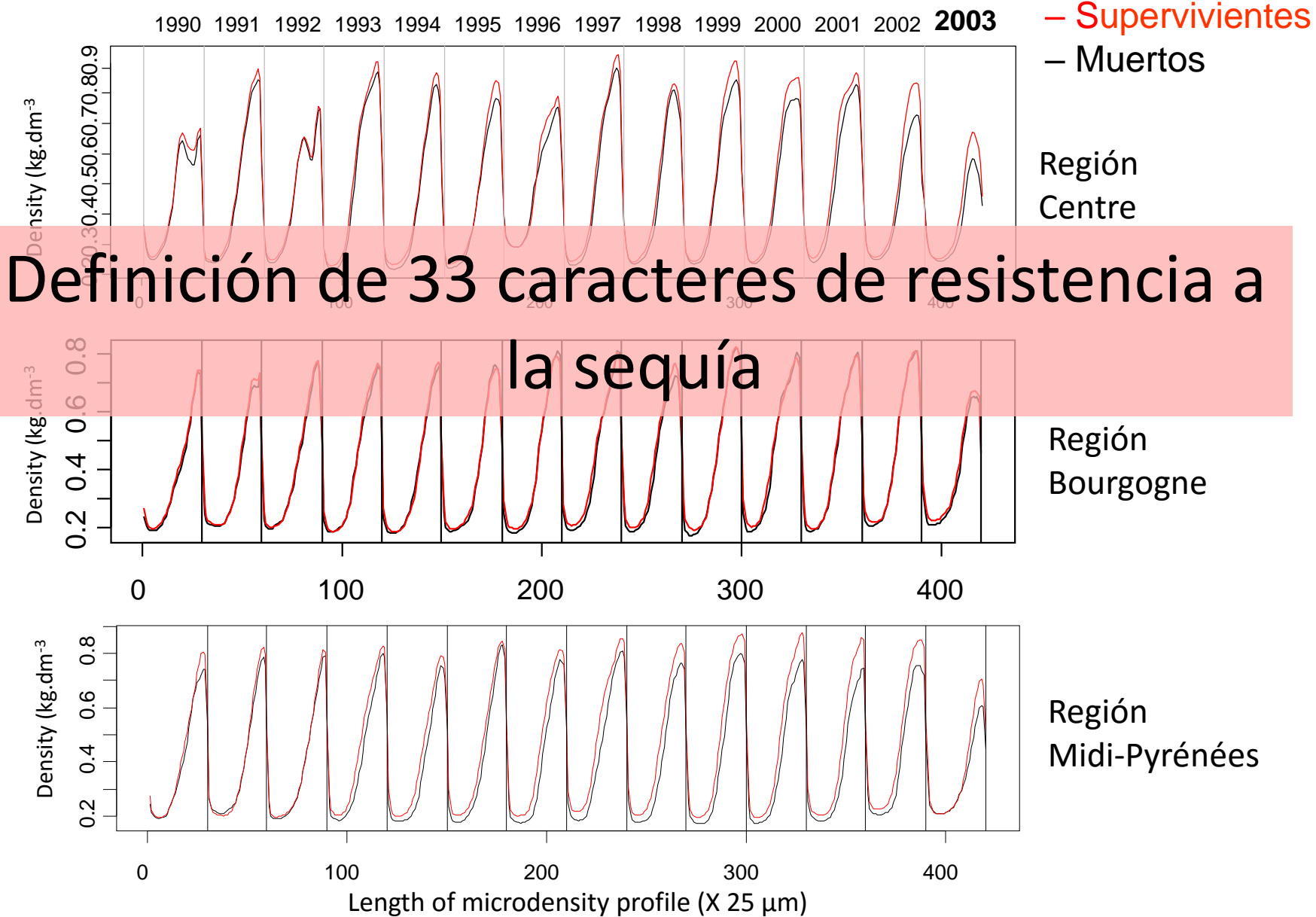
Britez, Manuela Ruiz Diaz, Anne-Sophie Sergent, Alejandro Martinez Meier, Nathalie Bréda, et Philippe Rozenberg. « Wood density proxies of adaptive traits linked with resistance to drought in douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) ». *Trees*, s. d., 1-16.



Britez, Manuela Ruiz Diaz, Anne-Sophie Sergent, Alejandro Martinez Meier, Nathalie Bréda, et Philippe Rozenberg. « Wood density proxies of adaptive traits linked with resistance to drought in douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) ». *Trees*, s. d., 1-16.

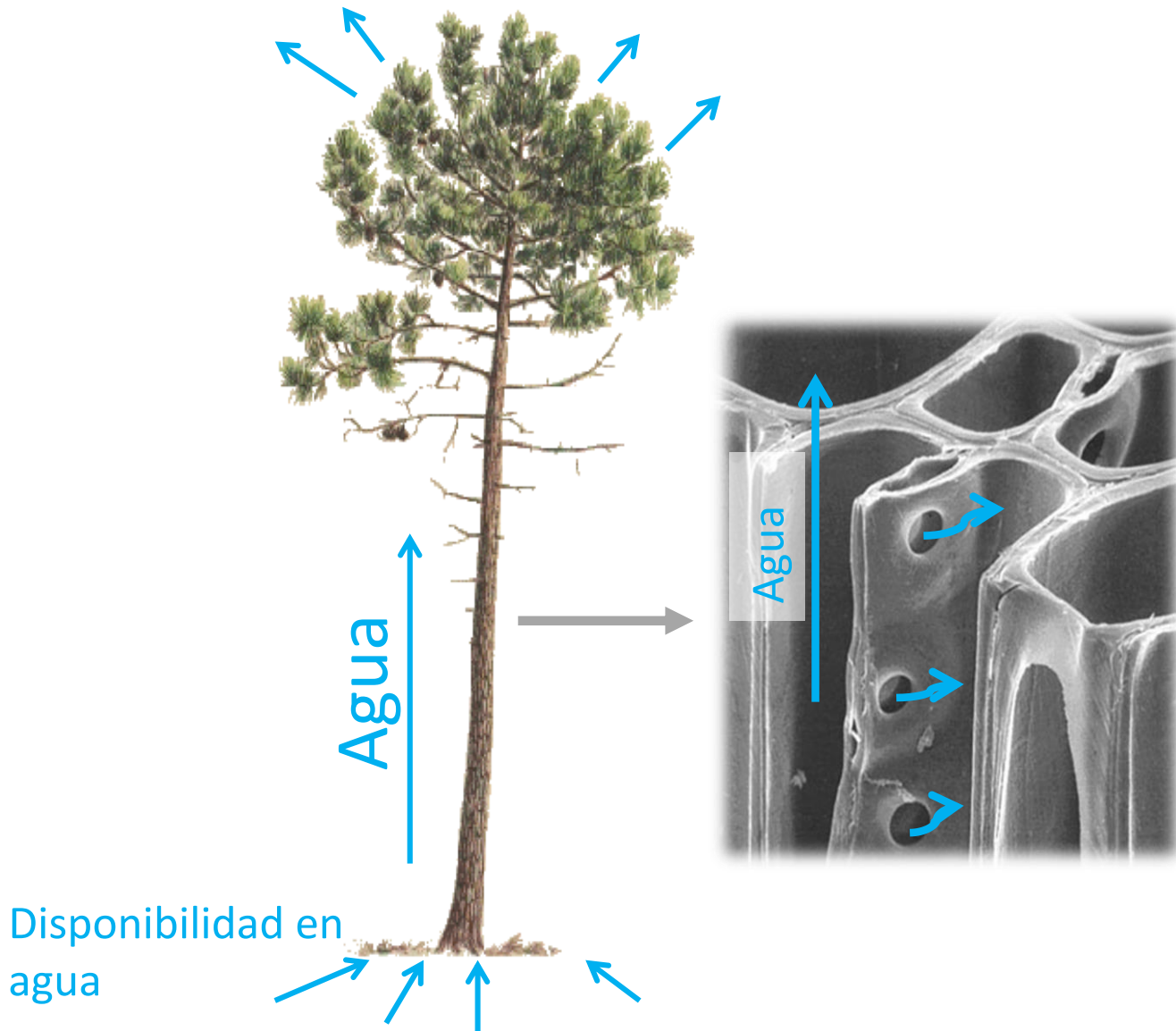


Britez, Manuela Ruiz Diaz, Anne-Sophie Sergent, Alejandro Martinez Meier, Nathalie Bréda, et Philippe Rozenberg. « Wood density proxies of adaptive traits linked with resistance to drought in douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) ». *Trees*, s. d., 1-16.



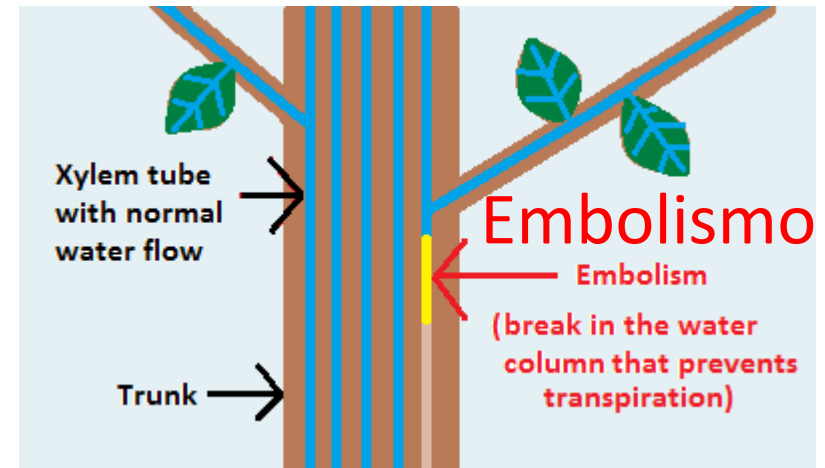
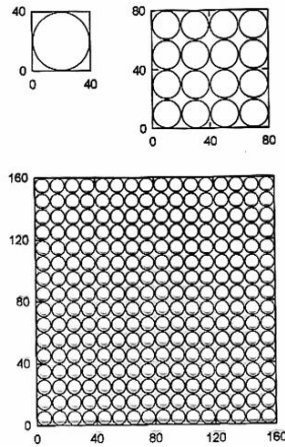
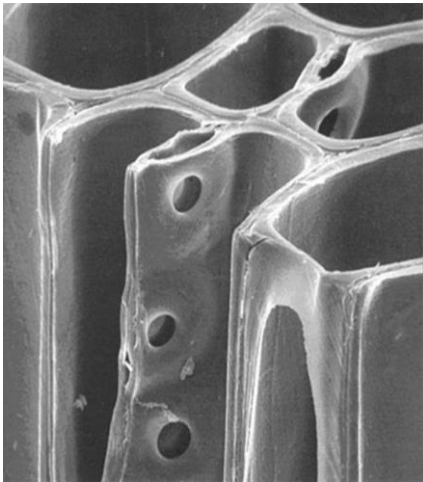
Ruiz Diaz Britez, Manuela, Anne-Sophie Sergent, Alejandro Martinez Meier, Nathalie Bréda, et Philippe Rozenberg. « Wood density proxies of adaptive traits linked with resistance to drought in douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) ». *Trees*, s. d., 1-16.

# Supervivientes: una densidad más alta



# Porque?

- Conductividad: diámetro de las células a la potencia 4!



- Árboles con células más pequeñas:
  - Conductividad mas baja
  - más resistentes al embolismo
  - densidad más alta

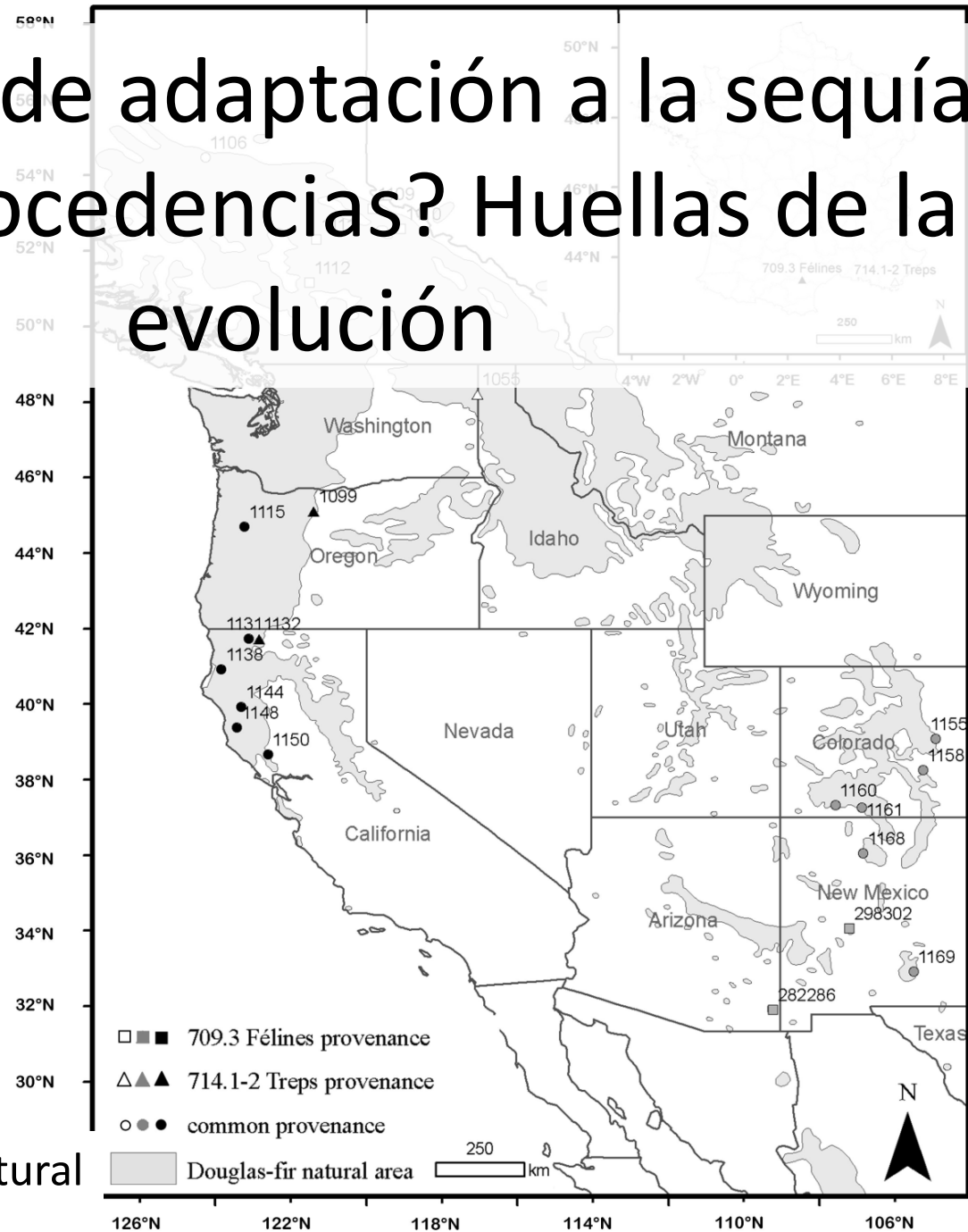
*simposio, presentación de  
M.E. Fernández*



# Potencial de adaptación a la sequía: entre procedencias? Huellas de la evolución

Anne-Sophie Sergent et al,  
Coastal and interior Douglas-  
fir provenances differ in  
growth performance and  
response to drought episodes,  
Annals of Forest Science  
DOI 10.1007/s13595-014-  
0393-1

Zona natural



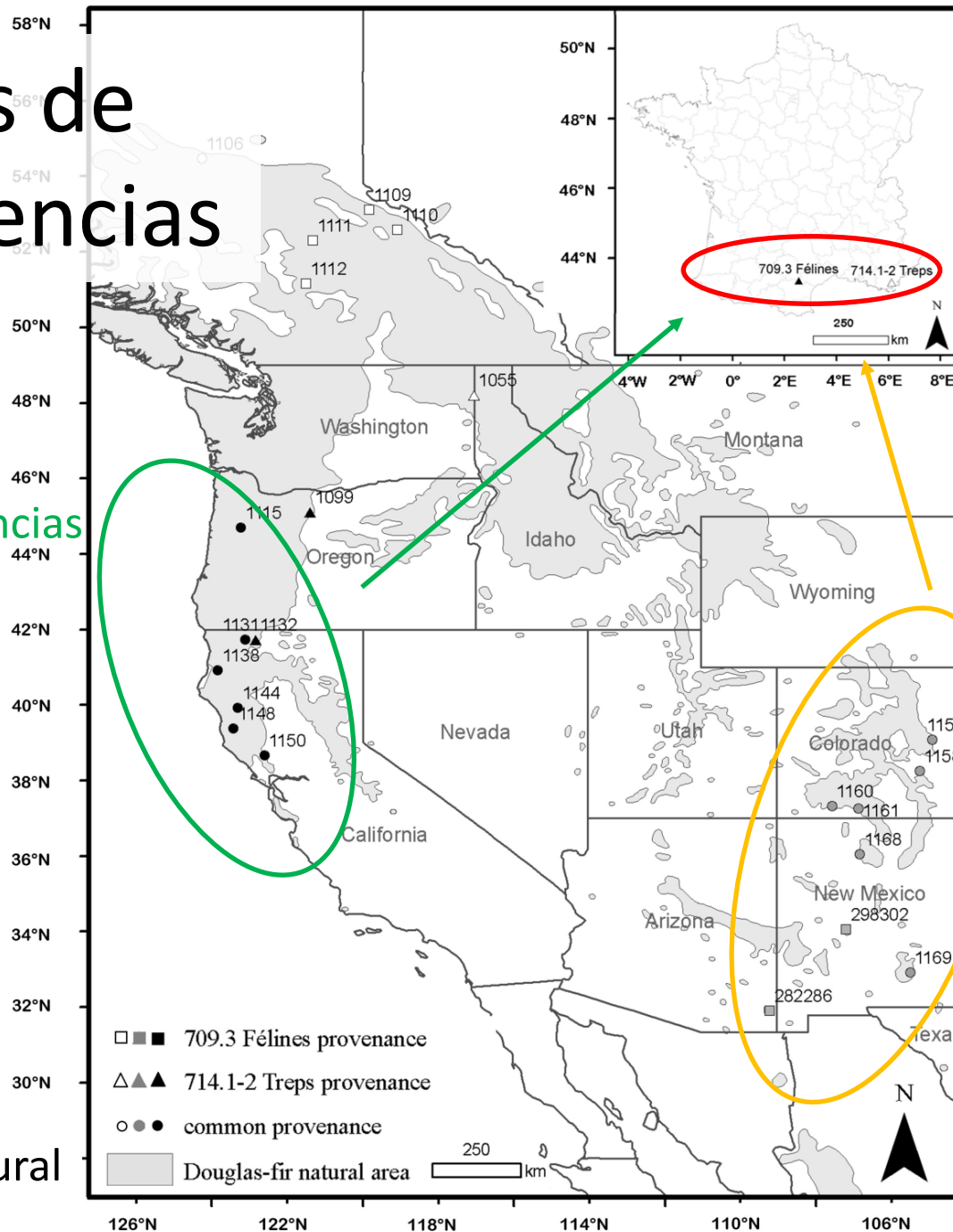
# Ensayos de procedencias

Ensayos en Francia (« common garden »)

Procedencias Costeras

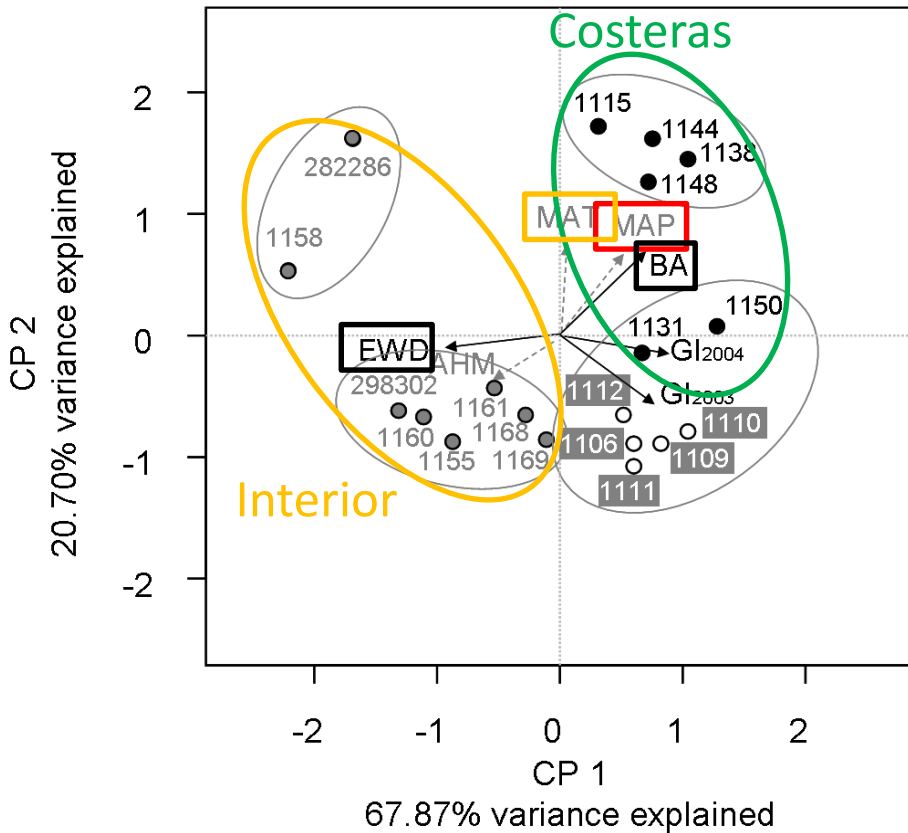
Procedencias del Interior

Zona natural

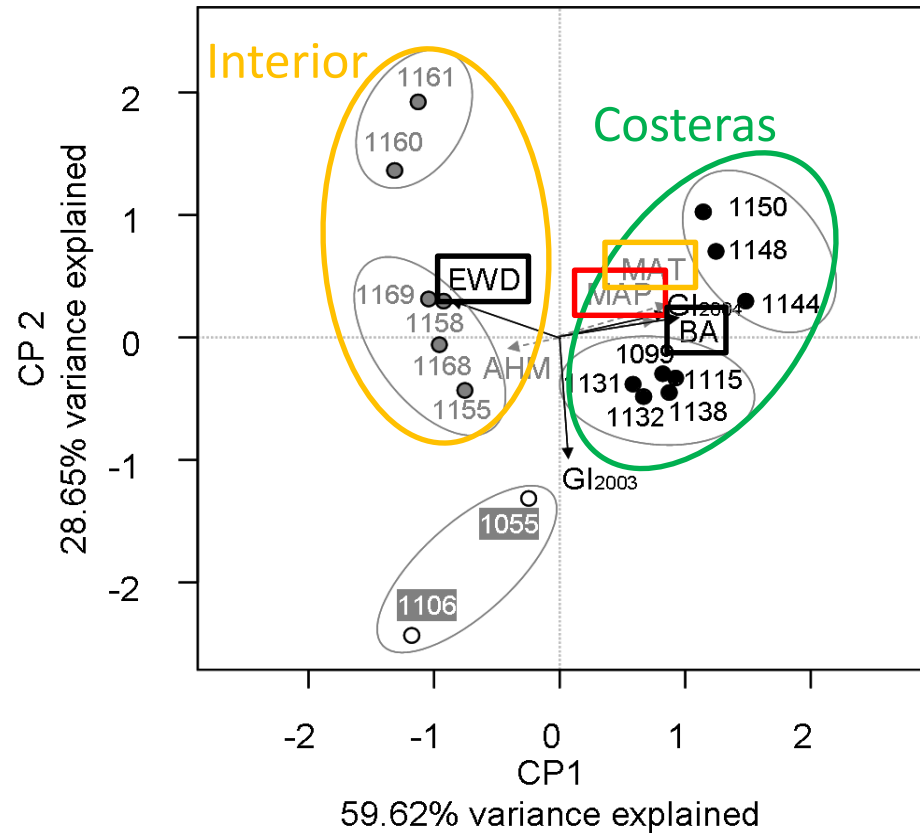


# Análisis multivariable

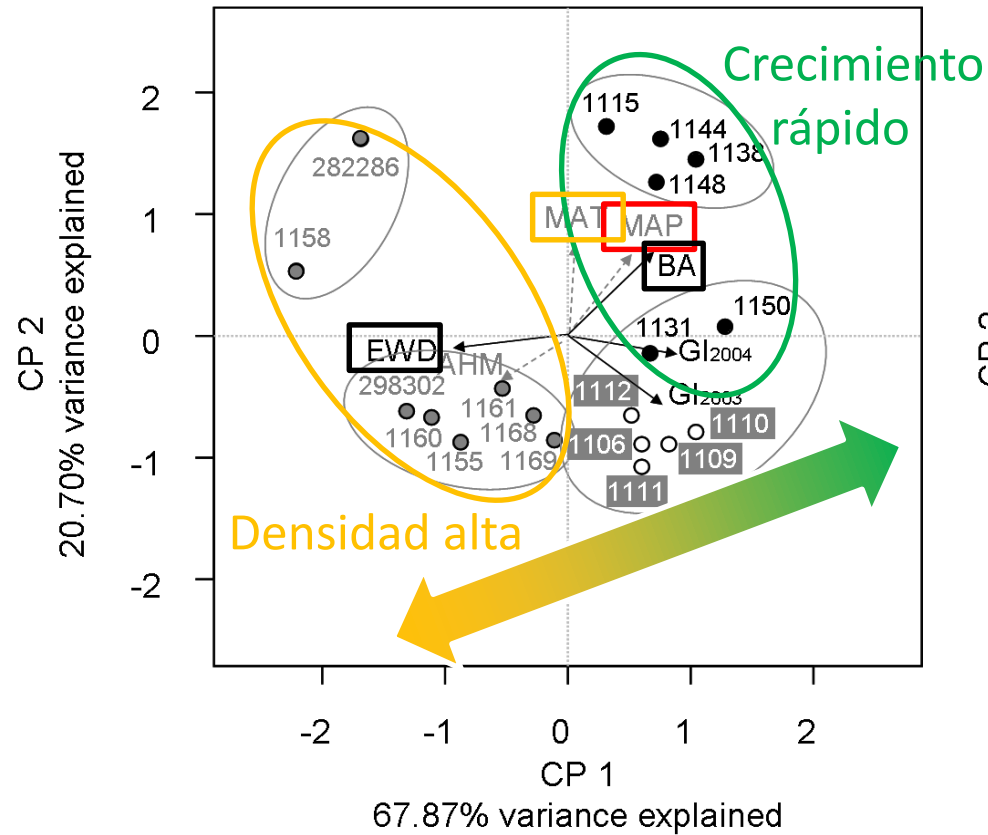
a. Felines



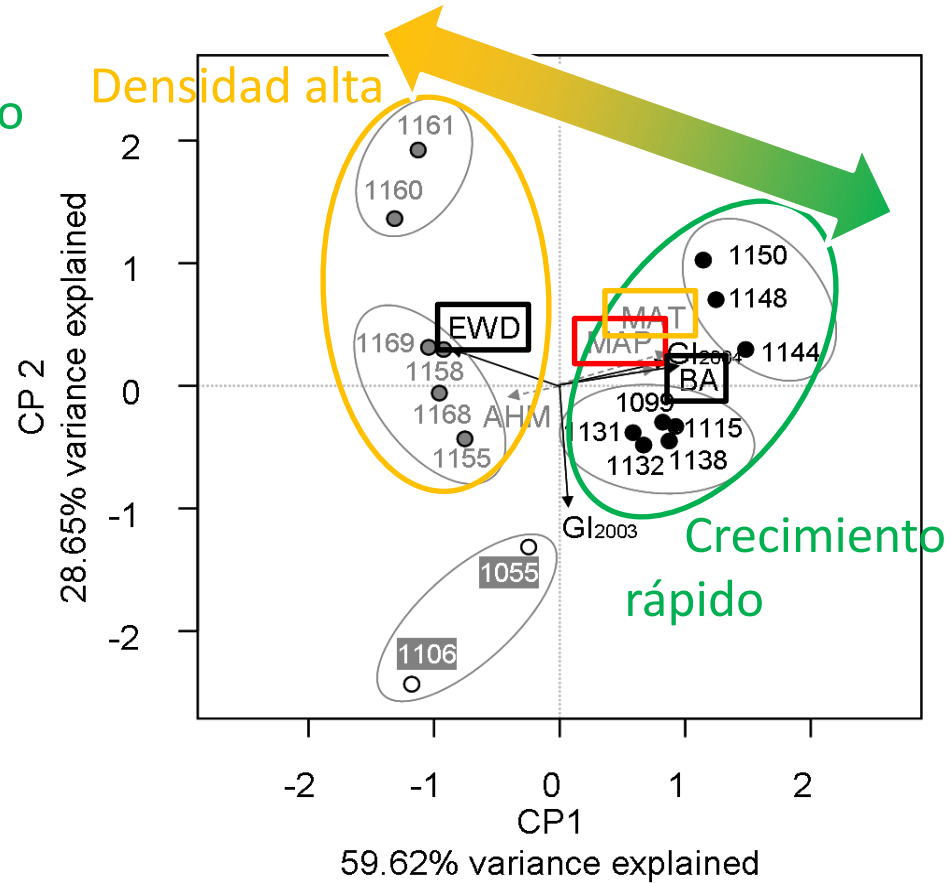
b. Le Treps



## a. Félines



## b. Le Trepes



Fuerte estructuración adaptativa para la resistencia a la sequía dentro de la zona natural

# Interior: desventajas

- Crecimiento lento
- Plagas: sensibles a *Rhabdocline spp.* & *Phaeocryptopus gaeumannii*



entro de la zona  
n ?

Image: Andrej Kunca, National Forest Centre - Slovakia, Bugwood.org - See more at: <http://www.insectimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1415168#sthash.dowIPVrH.dpuf>

# Costeras?

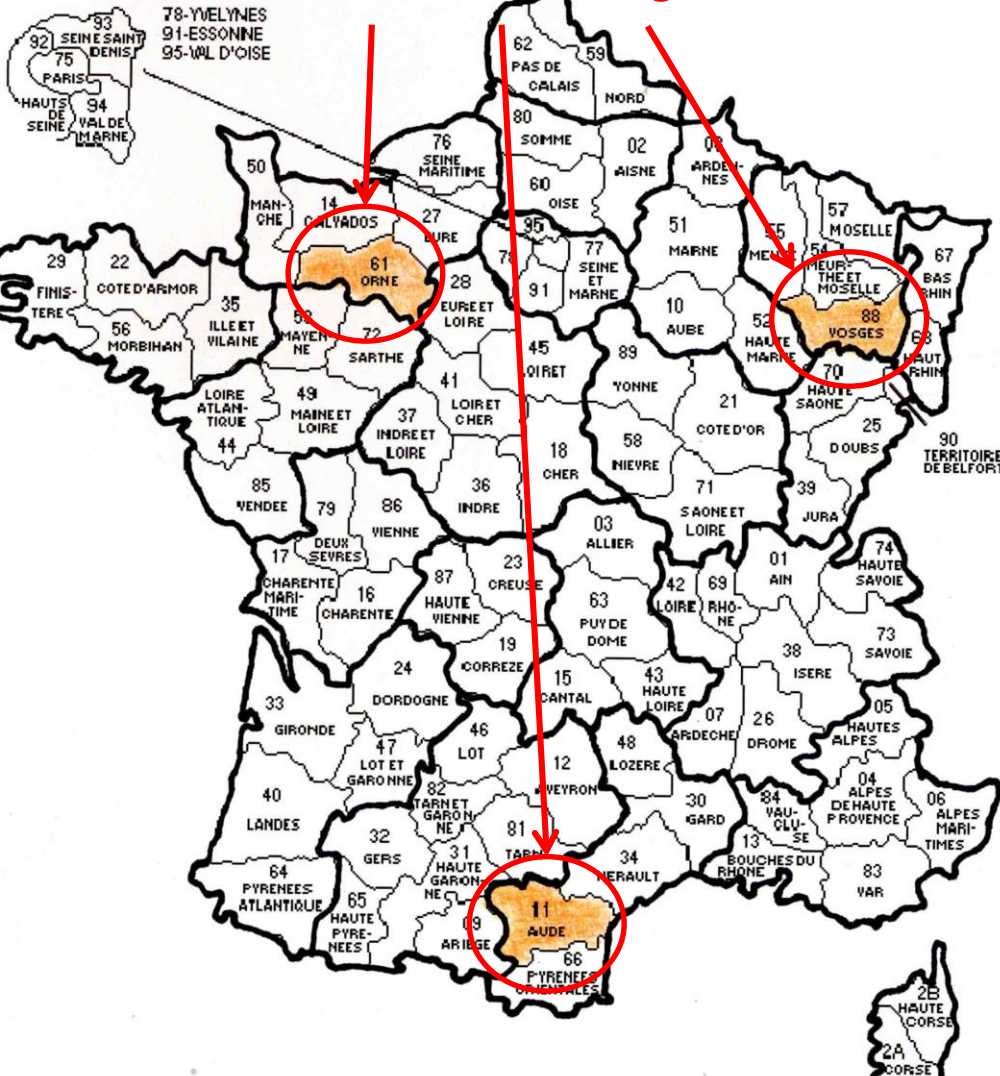
- Plagas: sensibles a *Rhabdocline spp.* & *Phaeocryptopus gaeumannii*
- Crecimiento lento
- Plantaciones actuales: procedencias costeras
- Potencial de adaptación dentro de la zona costera Washington-Oregón?

# Protocolo experimental

- Tres ensayos de comparación de procedencias/progenies de pino oregón en Francia en sitios de condiciones ambientales/climáticas y edáficas contrastantes.
- 56 progenies de tres procedencias de la zona costera del estado de Washington, Estados Unidos.
- Tarugos y perfiles de microdensidad
- 33 caracteres adaptativos
- variación fenotípica, varianza genética aditiva, coeficiente de variación genética aditiva y la heredabilidad *sensu stricto* ( $h^2$ ) de los caracteres de resistencia a la sequía de 12 anillos de crecimiento sucesivos, para cada una de las tres procedencias dentro de cada uno de los tres sitios de ensayo.
- 108 estimaciones del coeficiente de variación genética aditiva y de la heredabilidad para los 33 caracteres de resistencia a la sequía.

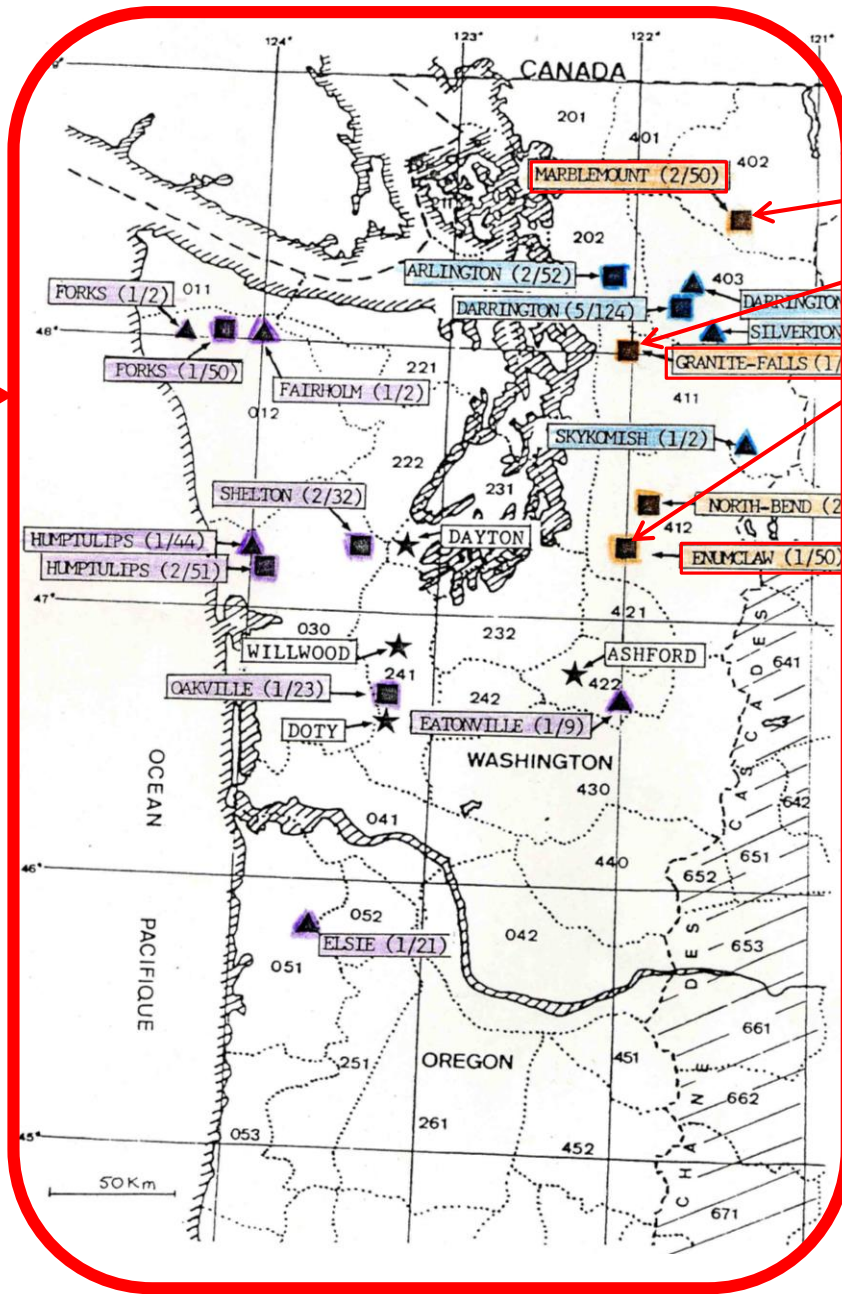
# Tres sitios experimentales en Francia

Orne, Aude, Vosges





Zona natural  
del pino  
Oregon



Tres procedencias

Marblemount

Granite-Falls

Enumclaw

56 familias

Representativas  
del pino oregón  
plantado en  
Francia

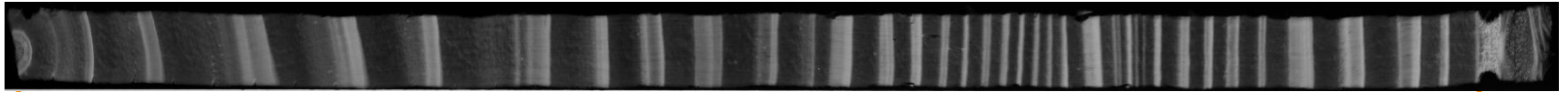
# 1600 tarugos



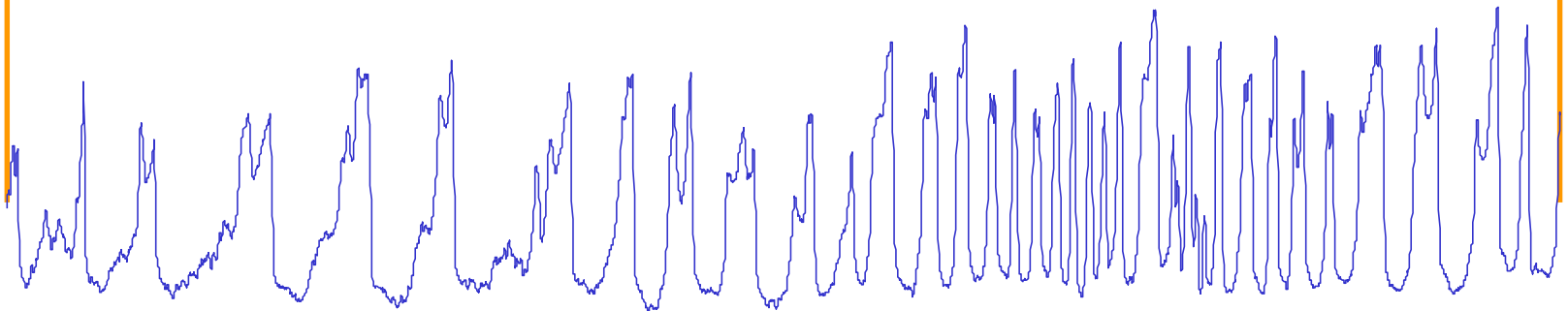
# 1600 perfiles de microdensidad



Imagen rayos X



perfil de microdensidad



Distancia (X 25 micrones)

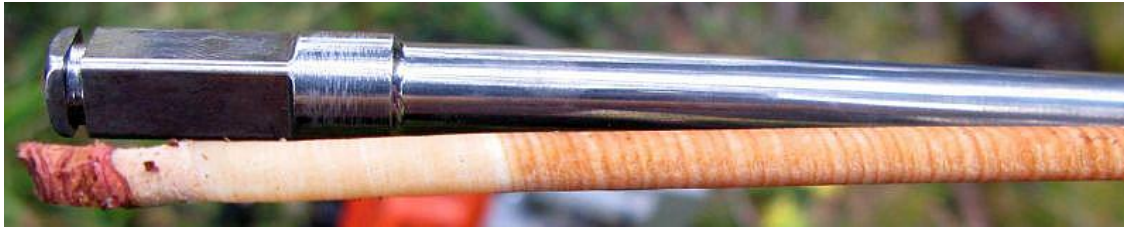
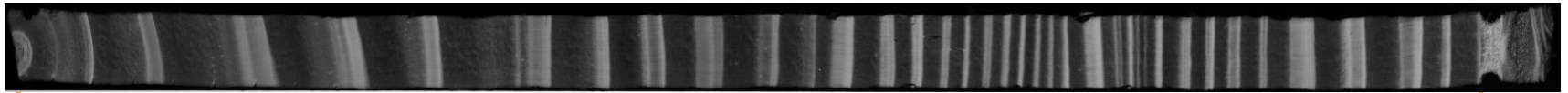
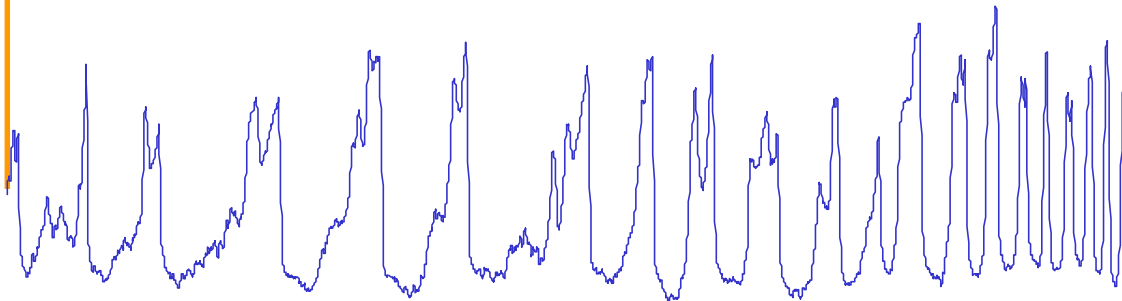


Imagen rayos X



perfil de microdensidad



Distancia (X 25 micrones)

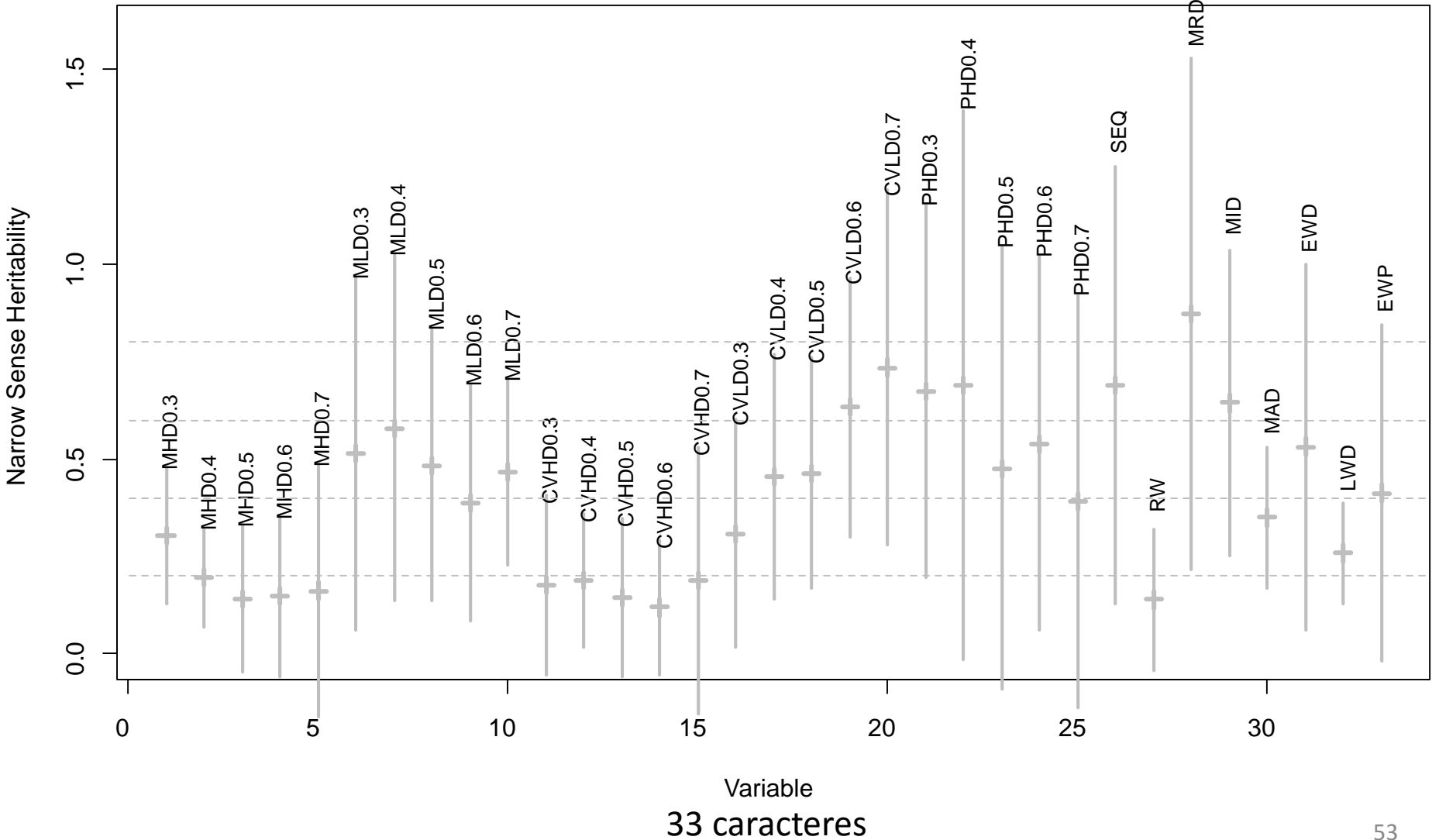
# Resultados

- **Heredabilidad y variancia genetica** de 33 caracteres de resistencia a la sequía
- Identificación de caracteres con un **potencial de adaptación** alto

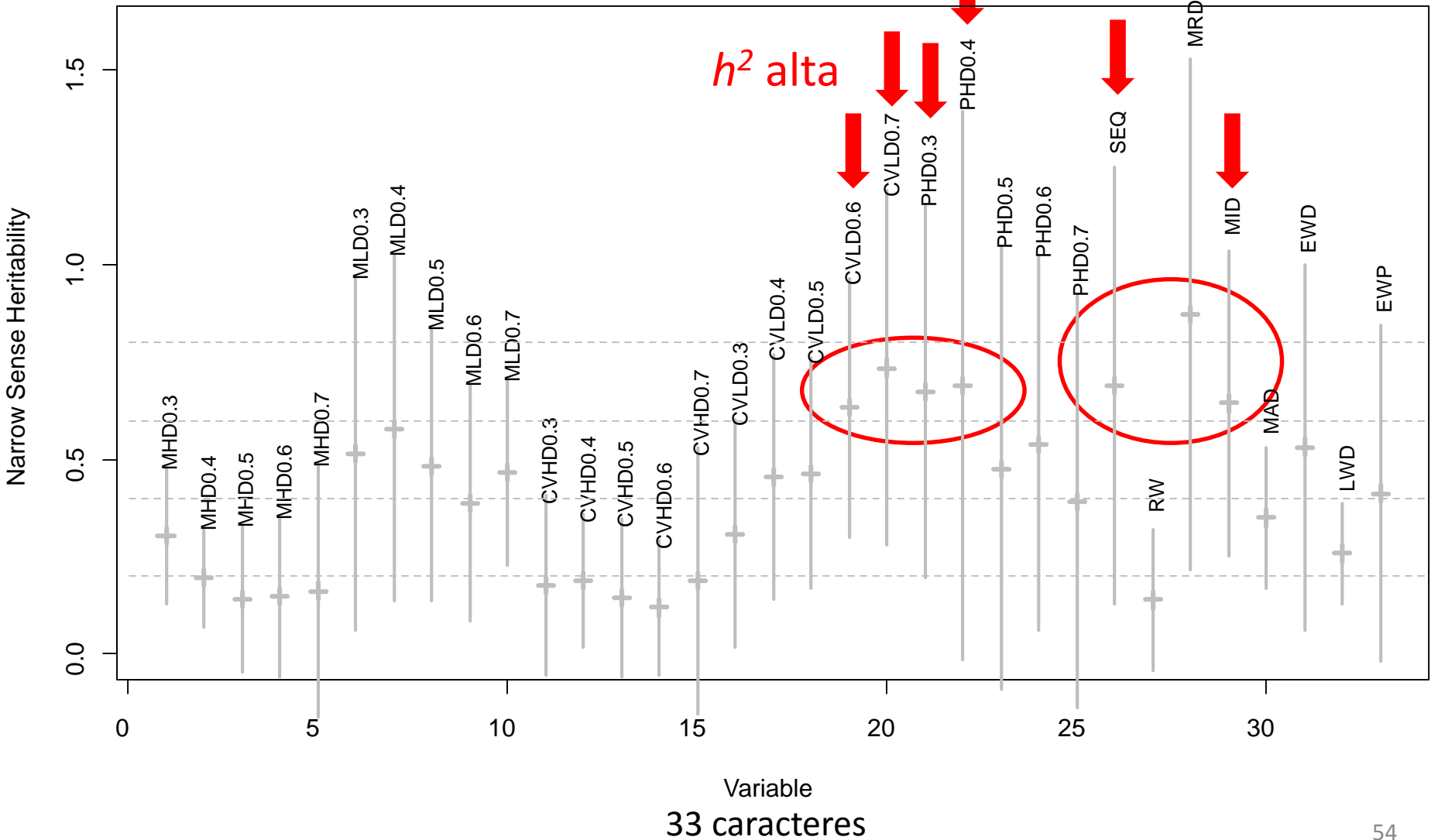


# Resultados

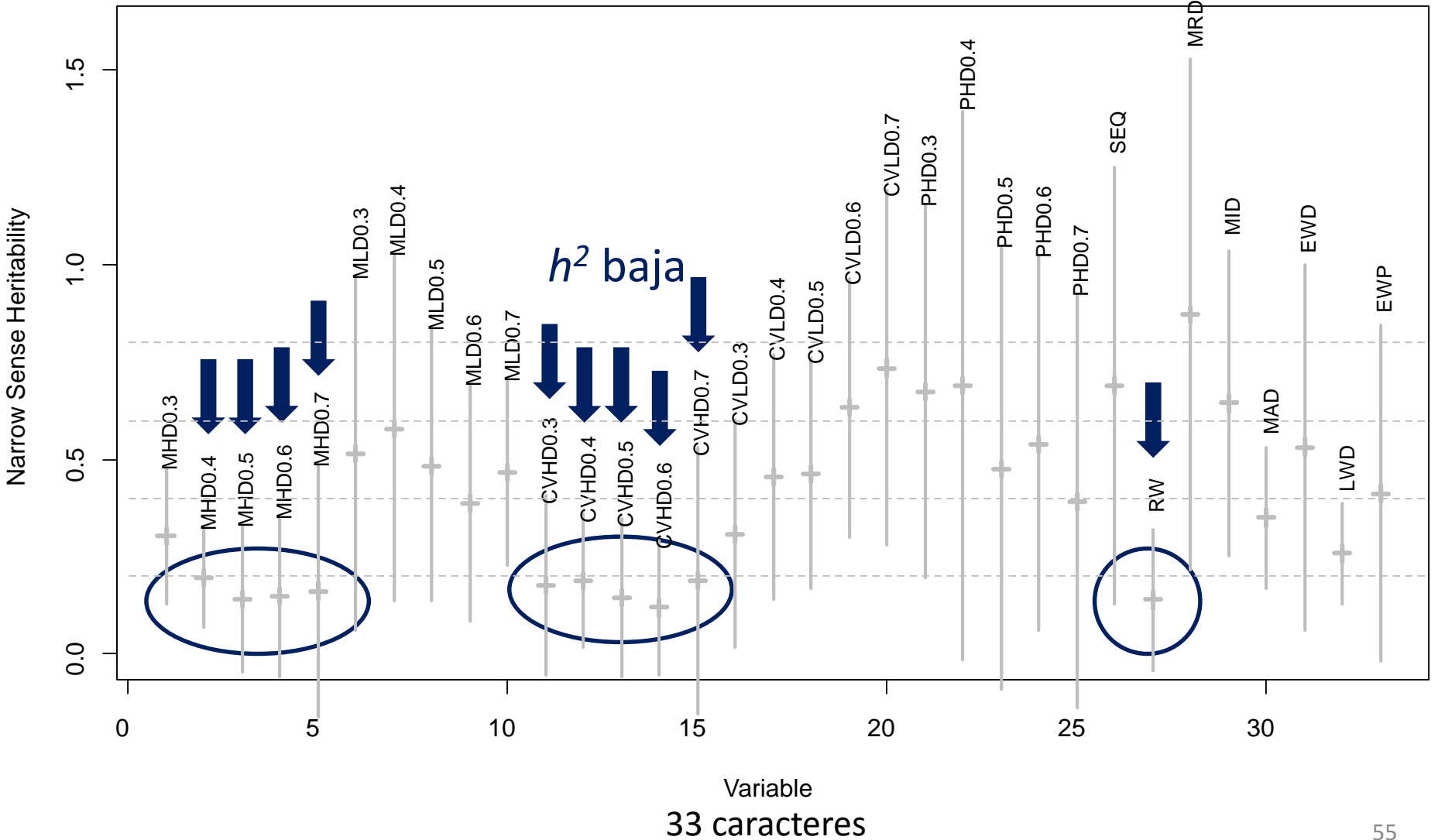
Sitio ORNE, procedencia Marblemount



# Sitio ORNE, procedencia Marblemount



# Sitio ORNE, procedencia Marblemount





# Variación de las estimaciones de $h^2$

- Efecto anillo: poco significativo (dos caracteres)
- Efecto sitio: significativo para casi todos los caracteres
  - Un sitio con estimaciones más altas: Orne
- Efecto procedencia: significativo para más de la mitad de los caracteres
  - Marblemount
- Estimaciones de  $h^2$  varían con las condiciones climáticas
- Cuanto más favorables las condiciones ambientales, más altas las estimaciones
- PERO tendencias contradictorias: otros factores?

*Simposio, presentación  
M. Ruiz-Díaz-Britez*

# Variación de las estimaciones de variación genética aditiva

- Efecto anillo: no significativo
- Efecto sitio: significativo para casi todos los caracteres (31/33)
- Estimaciones más altas en Orne y Vosges, más bajas en Aude
- Efecto procedencia: significativo para más de la mitad de los caracteres (20/33)
  - Enumclaw
- Variaciones con las condiciones ambientales

*Simposio, presentación*

*M. Ruiz-Diaz-Britez*

# Discusión

- Potencial de adaptación a la sequía del pino oregón
  - algunos caracteres con  $h^2$  y  $CVAg$  altos
  - objetos de mejoramiento genético
- Significación y interés de las estimaciones muy variables de parámetros genéticos? *Simposio, presentación M. Ruiz-Diaz-Britez*
- Otras especies de árboles forestales
- Interpretación a partir de resultados obtenidos en otros organismos?



# Perspectivas

- Pocos ensayos de progenies:
  - Estimar la variación fenotípica y genética y la heredabilidad en masas naturales
  - Utilizando estudios combinados de genética y genómica poblacional



# Conclusión

- Que aportan los árboles forestales al estudio de la genética en general ?
  - Variación natural huella de la evolución
  - Organismos sésiles con duración de vida larga,
  - Estructura adaptativa diseñada desde hace más tiempo que otros organismos
  - Frente a un cambio climático rápido
  - Anillos de crecimiento
- Modelo original para estudiar el potencial de la micro-evolución adaptiva de poblaciones silvestres

Gracias para su atención

