



HAL
open science

Adaptación de los árboles forestales al cambio climático: Contexto, estrategia de investigación, ejemplos

Philippe P. Rozenberg

► To cite this version:

Philippe P. Rozenberg. Adaptación de los árboles forestales al cambio climático: Contexto, estrategia de investigación, ejemplos. XV Congreso Internacional y XXI Congreso Nacional de Ciencias Ambientales, Jun 2016, Oaxaca, México. hal-02795883

HAL Id: hal-02795883

<https://hal.inrae.fr/hal-02795883v1>

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.



XV Congreso
Internacional

Academia Nacional de Ciencias Ambientales

XXI Congreso
Nacional
de Ciencias
Ambientales

"La cultura de los pueblos,
base para la conservación del ambiente"

Adaptación de los arboles forestales al cambio climático

Oaxaca, México

Contexto, estrategia de
investigación, ejemplos

Philippe Rozenberg,

INRA Val de Loire,
Orléans, France

15 al 17
de Junio
2016

Sede:

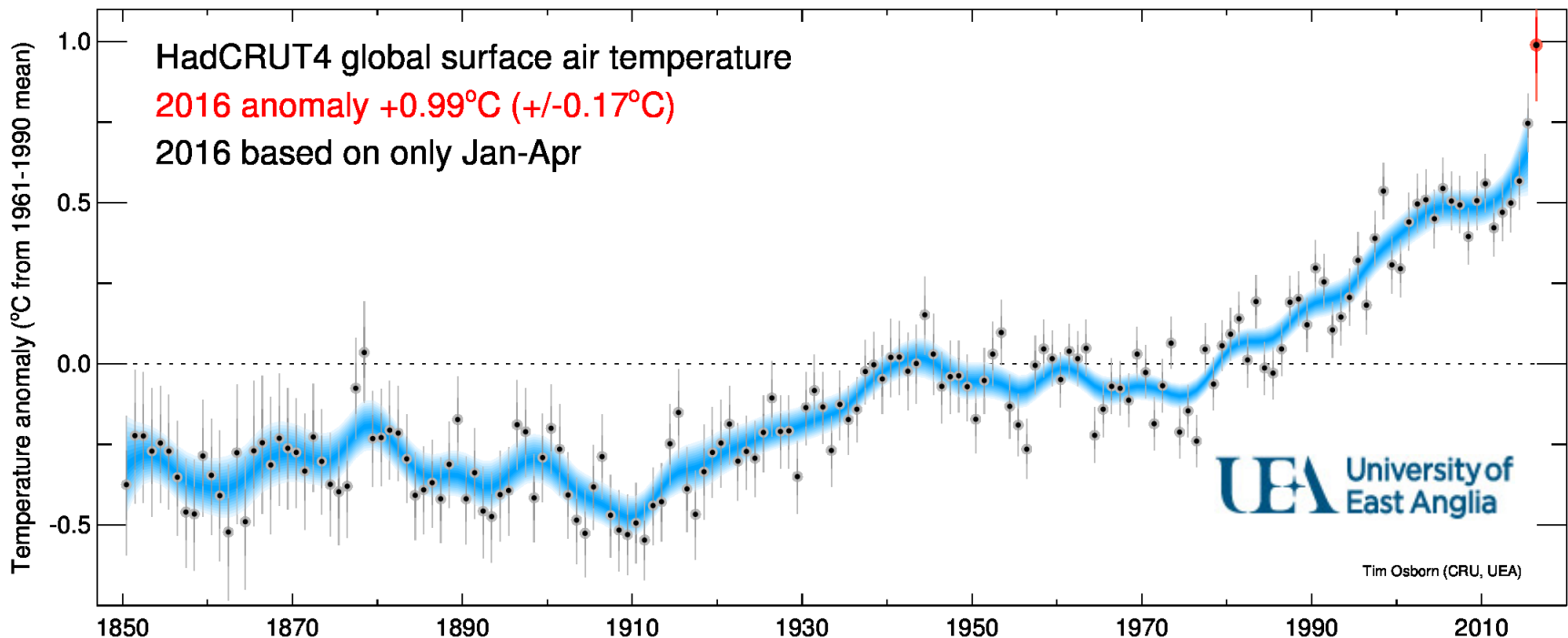
Instituto Tecnológico
del Valle de Oaxaca



- . Conferencias Magistrales
- . Cursos Precongreso del 12 al 14 de Junio
- . Recorridos de campo el 18 de Junio
- . Exposición Comercial
- . Eventos Culturales
- . Programa para acompañantes

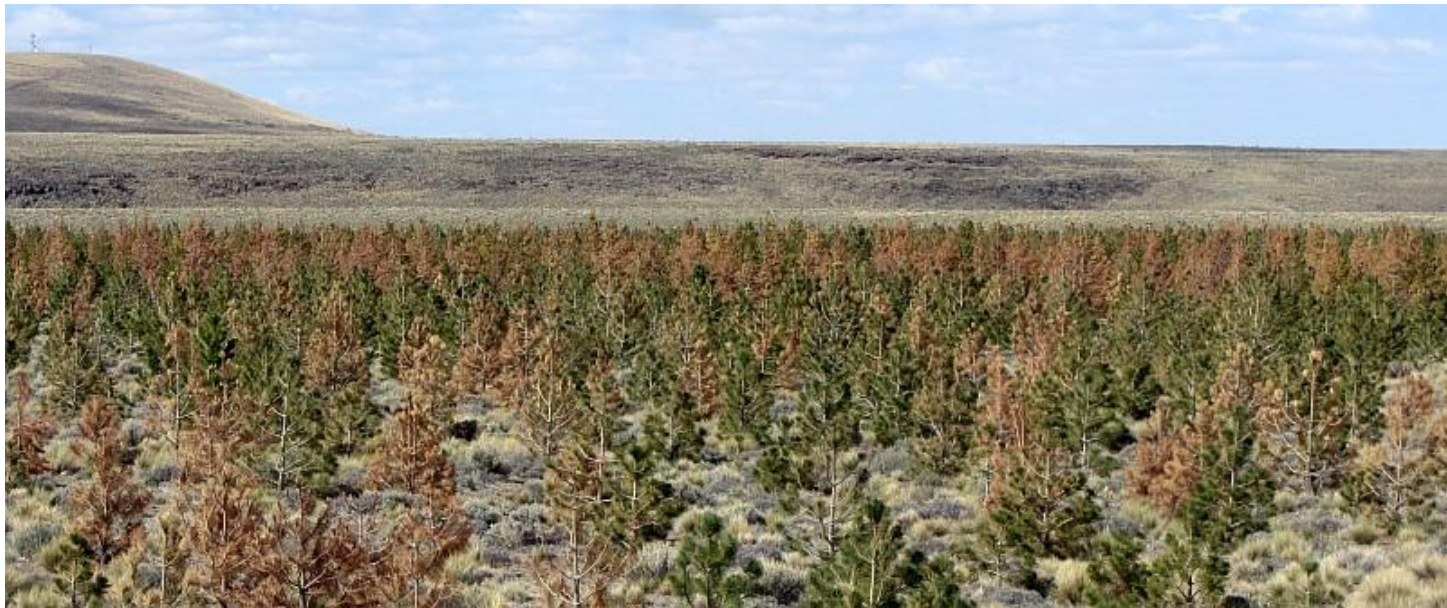
Cambio climático

- Tendencia mas evidente y estable: el calentamiento global
- Otros componentes climáticos: tendencias variables geográficamente, temporalmente, inconstante



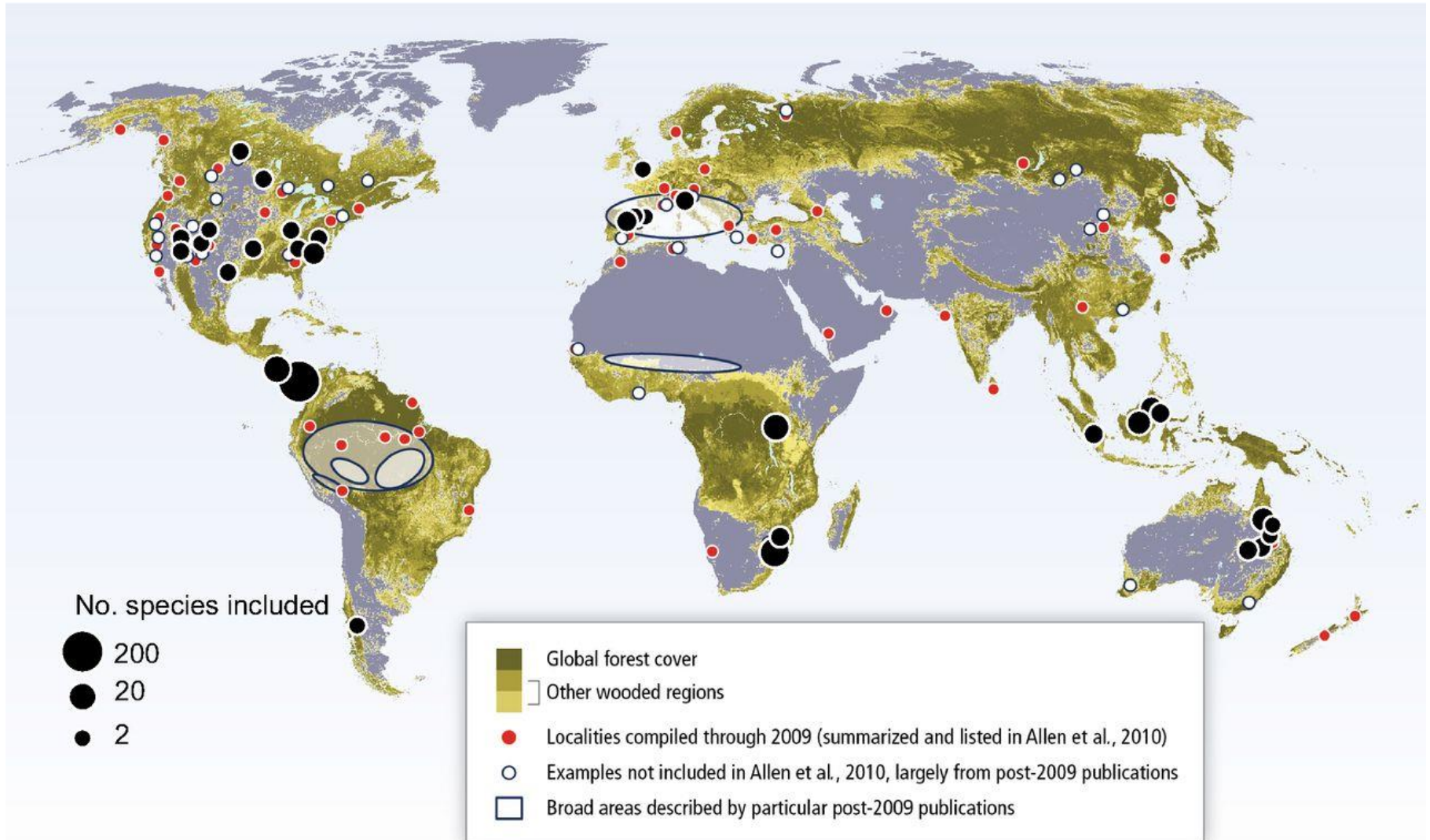
Manifestaciones mas evidentes

- Decaimientos forestales mas frecuentes y mas graves



Pinus ponderosa, Patagonia, Argentine, 2011

Decaimientos forestales en el mundo



Anderegg, Leander D. L., et Janneke HilleRisLambers. 2016. « Drought Stress Limits the Geographic Ranges of Two Tree Species via Different Physiological Mechanisms ». *Global Change Biology* 22 (3): 1029-45.

doi:10.1111/qcb.13148.

Rusia central, incendios forestales de 2010: incendios catastróficos asociados a una ola de calor



Adaptación de los arboles forestales al cambio climático

Decaimientos recientes y importantes

- Rusia central, incendios forestales de 2010: incendios asociados a una ola de calor
- Nord-Oeste de América del Norte desde los años 2000, infestación catastrófica del insecto *Dendroctonus ponderosae*, dendroctono del pino ponderosa « Mountain pine beetle »



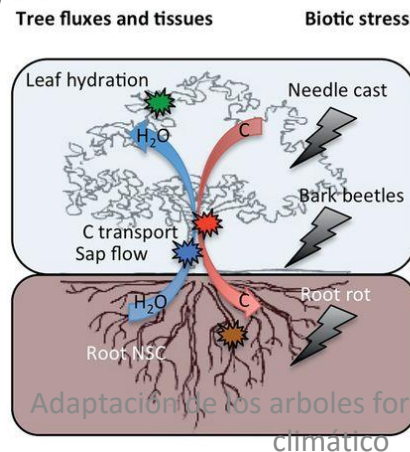
Adaptación de los arboles forestales al cambio climático

Decaimientos recientes y importantes

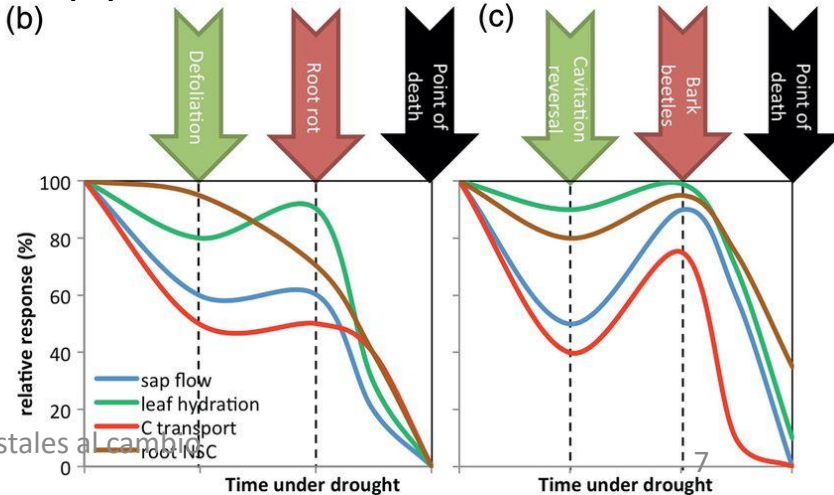
- Rusia central, incendios forestales de 2010: incendios asociados a una ola de calor
- Nord-Oeste de America del Norte desde los años 2000 (*Dendroctonus ponderosae*, dendroctone del pino ponderosa « Mountain pine beetle »,)
- La relación con el cambio climático esta demostrada, se estudian las causas y los mecanismos:

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

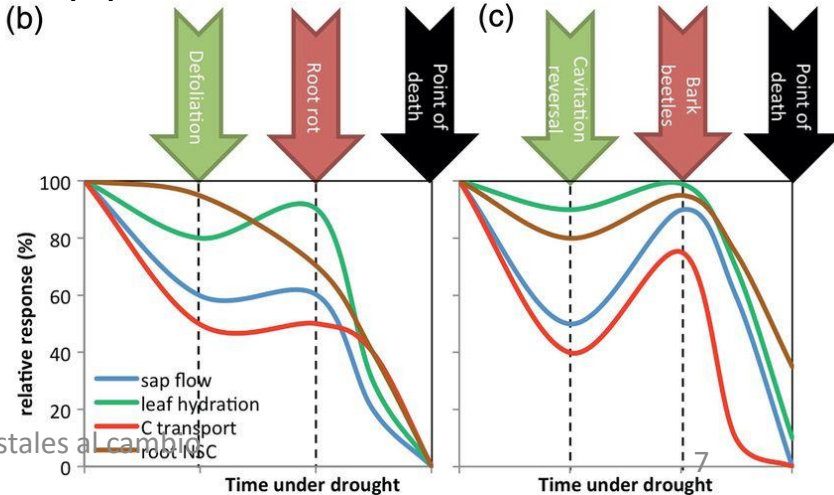
doi:10.1093/treephys/tpv011 (a)



(b)



(c)



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, 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, 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, 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 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, 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 abeto y del Douglas 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.

Aumento de la mortandad asociada a la sequía?

- Si, en el oeste y suroeste de los Estados Unidos

Van Mantgem, P. J., N. L. Stephenson, J. C. Byrne, L. D. Daniels, J. F. Franklin, P. Z. Fule, M. E. Harmon, et al. 2009. « Widespread Increase of Tree Mortality Rates in the Western United States ». *Science* 323 (5913): 521-24. doi:10.1126/science.1165000.

Moore, Georgianne W., Christopher B. Edgar, Jason G. Vogel, Robert A. Washington-Allen, Rosaleen G. March, et Rebekah Zehnder. 2016. « Tree Mortality from an Exceptional Drought Spanning Mesic to Semiarid Ecoregions ». *Ecological Applications* 26 (2): 602-11. doi:10.1890/15-0330.

- Si en Canadá: aumento de la mortandad de 4,7% por año de 1963 à 2008 (4.9% en el oeste y 1.9% en el este)

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. doi:10.1038/nclimate1293.

- Globalmente, si, pero liviano y mas bien en climas secos

Steinkamp, Jörg, et Thomas Hickler. 2015. « Is Drought-Induced Forest Dieback Globally Increasing? ». *Journal of Ecology* 103 (1): 31-43. doi:10.1111/1365-2745.12335.

Aumento de la mortandad asociada a la sequia ?

- Si, en el oeste y suroeste de los Estados Unidos

Van Mantgem, P. J., N. L. Stephenson, J. C. Byrne, L. D. Daniels, J. F. Franklin, P. Z. Fule, M. E. Harmon, et al. 2009. « Widespread Increase of Tree Mortality Rates in the Western United States ». *Science* 323 (5913): 521-24. doi:10.1126/science.1165000.

Moore, Georgianne W., Christopher B. Edgar, Jason G. Vogel, Robert A. Washington-Allen, Rosaleen G. March, et Rebekah Zehnder. 2016. « Tree Mortality from an Exceptional Drought Spanning Mesic to Semiarid Ecoregions ». *Ecological Applications* 26 (2): 602-11. doi:10.1890/15-0330.

- Si, en Canadá: aumento de la mortandad de 4,7% por año de 1963 à 2008 (4.9% en el oeste y 1.9% en el este)

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. doi:10.1038/nclimate1293.

- Globalmente, si, pero liviano y mas bien en climas secos

Steinkamp, Jörg, et Thomas Hickler. 2015. « Is Drought-Induced Forest Dieback Globally Increasing? ». *Journal of Ecology* 103 (1): 31-43. doi:10.1111/1365-2745.12335.

Aumento de la mortandad asociada a la sequia ?

- Si, en el oeste y suroeste de los Estados Unidos

Van Mantgem, P. J., N. L. Stephenson, J. C. Byrne, L. D. Daniels, J. F. Franklin, P. Z. Fule, M. E. Harmon, et al. 2009. « Widespread Increase of Tree Mortality Rates in the Western United States ». *Science* 323 (5913): 521-24. doi:10.1126/science.1165000.

Moore, Georgianne W., Christopher B. Edgar, Jason G. Vogel, Robert A. Washington-Allen, Rosaleen G. March, et Rebekah Zehnder. 2016. « Tree Mortality from an Exceptional Drought Spanning Mesic to Semiarid Ecoregions ». *Ecological Applications* 26 (2): 602-11. doi:10.1890/15-0330.

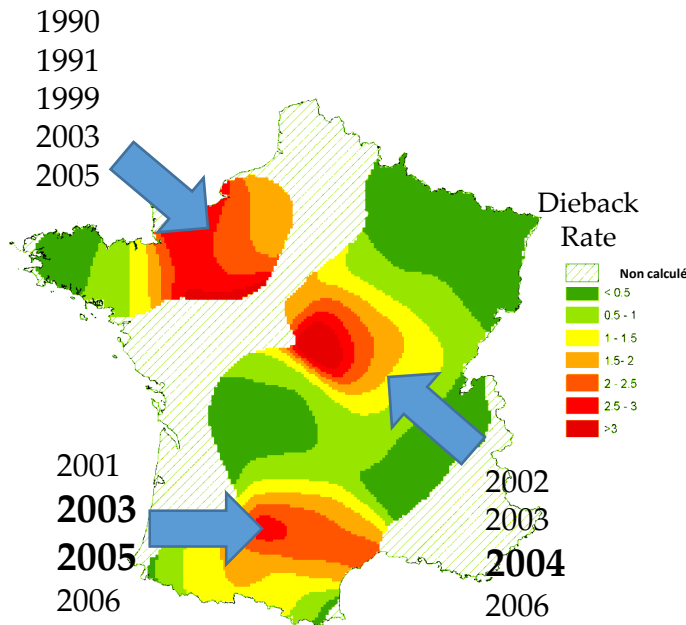
- Si en Canadá: aumento de la mortandad de 4,7% por año de 1963 à 2008 (4.9% en el oeste y 1.9% en el este)

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. doi:10.1038/nclimate1293.

- Globalmente, si, pero liviano y sobre todo en climas secos

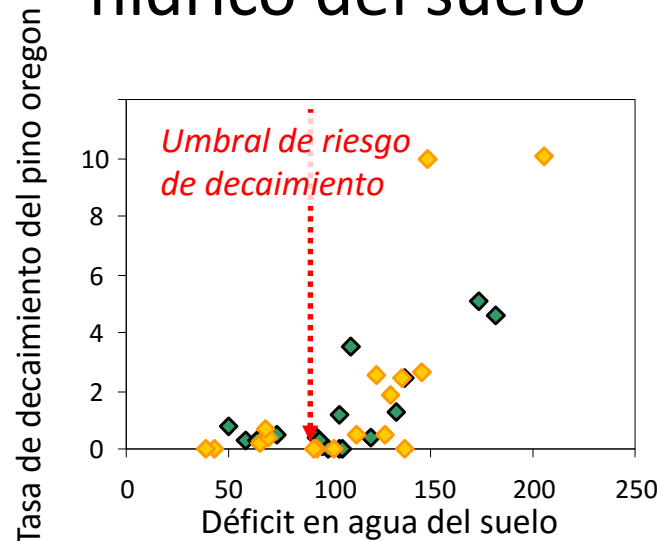
Steinkamp, Jörg, et Thomas Hickler. 2015. « Is Drought-Induced Forest Dieback Globally Increasing? ». *Journal of Ecology* 103 (1): 31-43. doi:10.1111/1365-2745.12335.

Demostración del rol de la sequía: Douglas en Francia



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

- Relación con el déficit hídrico del suelo



Decaimientos por sequía: menos precipitaciones o mas calor?

- Selva caducifolia del norte de América: decaimientos asociados a bajas precipitaciones en el sur y a temperaturas mas altas en el norte

Martin-Benito, Dario, et Neil Pederson. 2015. « Convergence in Drought Stress, but a Divergence of Climatic Drivers across a Latitudinal Gradient in a Temperate Broadleaf Forest ». *Journal of Biogeography* 42 (5): 925-37. doi:10.1111/jbi.12462.



Adaptación de los arboles forestales al cambio climático

Características de los eventos de mortandad

- Mas observaciones (o mas indicaciones?)
- En todos tipos de climas
- Aumento de la tasa de mortandad sobre todo en climas secos
- Dispersados o masivos
- En plantaciones tanto como en masas naturales
- Para especies nativas tanto como para especies introducidas



Adaptació

climatico

El círculo vicioso de los decaimientos...

- Cambio climático -> sequias -> decaimientos forestales -> liberación de carbono -> aumento del efecto invernadero -> aumento de la temperatura
- Intervenciones posibles
 - Pozos de carbono: utilización durable de la madera, nuevas plantaciones



Adaptación de los árboles forestales al cambio climático

Nuevas plantaciones y calentamiento global?

- Efectos antagonistas:
 - Acumulación de carbono + evapotranspiración -> enfriamiento
 - Efecto de albedo -> calentamiento...
 - Hemisferio sur, las nuevas plantaciones aumentan el calentamiento

Wang, Ye, Xiaodong Yan, et Zhaomin Wang. 2015. « Global warming caused by afforestation in the Southern Hemisphere ». *Ecological Indicators* 52 (mai): 371-78. doi:10.1016/j.ecolind.2014.12.004.

- Noruega, simulaciones predicen un mayor efecto calentamiento

De Wit, Heleen A., Anders Bryn, Annika Hofgaard, Jonas Karstensen, Maria M. Kvalevåg, et Glen P. Peters. 2014. « Climate Warming Feedback from Mountain Birch Forest Expansion: Reduced Albedo Dominates Carbon Uptake ». *Global Change Biology* 20 (7): 2344-55. doi:10.1111/gcb.12483.

- Observaciones globales por satélites:
 - Bosques templados y boreales en invierno: calentamiento
 - Bosques tropicales, bosques templados en verano, bosques boreales en verano (-): resfriamiento

Li, Yan, Maosheng Zhao, Safa Motesharrei, Qiaozhen Mu, Eugenia Kalnay, et Shuangcheng Li. 2015. « Local Cooling and Warming Effects of Forests Based on Satellite Observations ». *Nature Communications* 6 (mars): 6603. doi:10.1038/ncomms7603.

Nuevas plantaciones y calentamiento global ?

- Efectos antagonistas:
 - Acumulación de carbono + evapotranspiración -> resfriamiento
 - Albedo -> calentamiento...
 - Hemisferio sur, las nuevas plantaciones aumentan el calentamiento

Wang, Ye, Xiaodong Yan, et Zhaomin Wang. 2015. « Global warming caused by afforestation in the Southern Hemisphere ». *Ecological Indicators* 52 (mai): 371-78. doi:10.1016/j.ecolind.2014.12.004.

- Noruega, simulaciones predicen un mayor efecto **calentamiento**

De Wit, Heleen A., Anders Bryn, Annika Hofgaard, Jonas Karstensen, Maria M. Kvalevåg, et Glen P. Peters. 2014. « Climate Warming Feedback from Mountain Birch Forest Expansion: Reduced Albedo Dominates Carbon Uptake ». *Global Change Biology* 20 (7): 2344-55. doi:10.1111/gcb.12483.

- Observaciones globales por satélites:
 - Bosques templados y boreales en invierno: calentamiento
 - Bosques tropicales, bosques templados en verano, bosques boreales en verano (-): resfriamiento

Li, Yan, Maosheng Zhao, Safa Motesharrei, Qiaozhen Mu, Eugenia Kalnay, et Shuangcheng Li. 2015. « Local Cooling and Warming Effects of Forests Based on Satellite Observations ». *Nature Communications* 6 (mars): 6603. doi:10.1038/ncomms7603.

Nuevas plantaciones y calentamiento global ?

- Efectos antagonistas:

- Acumulación de carbono + evapotranspiración -> enfriamiento
- Albedo -> calentamiento...
- Hemisferio sur, las nuevas plantaciones aumentan el calentamiento

Wang, Ye, Xiaodong Yan, et Zhaomin Wang. 2015. « Global warming caused by afforestation in the Southern Hemisphere ». *Ecological Indicators* 52 (mai): 371-78. doi:10.1016/j.ecolind.2014.12.004.

- Noruega, simulaciones predicen un mayor efecto calentamiento

De Wit, Heleen A., Anders Bryn, Annika Hofgaard, Jonas Karstensen, Maria M. Kvalevåg, et Glen P. Peters. 2014. « Climate Warming Feedback from Mountain Birch Forest Expansion: Reduced Albedo Dominates Carbon Uptake ». *Global Change Biology* 20 (7): 2344-55. doi:10.1111/gcb.12483.

- Observaciones globales por satélites:

- Bosques templados y boreales en invierno: **calentamiento**
- Bosques tropicales, bosques templados en verano, bosques boreales en verano: **enfriamiento**

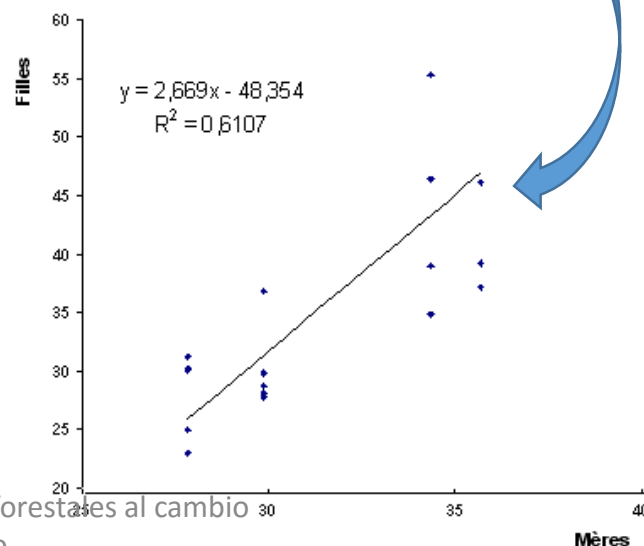
Li, Yan, Maosheng Zhao, Safa Motesharrei, Qiaozhen Mu, Eugenia Kalnay, et Shuangcheng Li. 2015. « Local Cooling and Warming Effects of Forests Based on Satellite Observations ». *Nature Communications* 6 (mars): 6603. doi:10.1038/ncomms7603.

Que hacer? Tendencia actual y estrategia general

- Aumentar la utilización de la madera,
- Mantener y desarrollar los bosques:
 - Regeneración natural y plantaciones de bosques mas adaptados a las nuevas condiciones climáticas
 - ...Mas adaptados = adaptación evolutiva (adaptación genética)
- Seleccionar los individuos/variedades mas adaptado/as a los nuevos estreses climáticos
 - con fenotipos mas favorables para los caracteres adaptativos pertinentes Y con un determinismo genético alto

Adaptación evolutiva (genética)

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



Adaptación de los árboles forestales al cambio climático

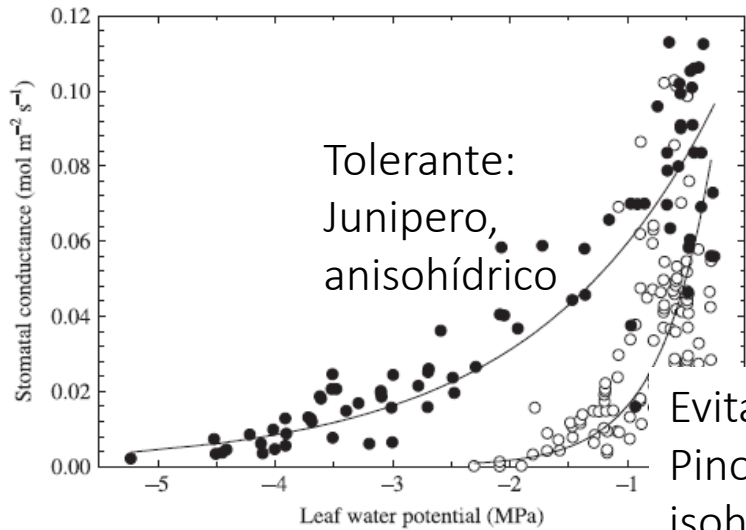
Características de interés: caracteres adaptativos

- Cuales son los caracteres adaptativos pertinentes?
- Que es un carácter adaptativo?
 - Relación con la *fitness* (= valor adaptativo = éxito reproductivo global)
 - Fitness = potencial reproductivo + sobrevivencia
- Si las sequias son las causas principales de los decaimientos -> mejorar la resistencia a la sequia
 - Estrategia basada sobre la resistencia a la sequia
 - (Y... Si la sequia no es el estrés pertinente?...)

Estrategias de resistencia a sequía: *evitadora vs tolerante*

- Evitadora:
 - comportamiento estomático *isohídrico*
 - Baja *resistencia a la cavitación*
- Tolerante:
 - comportamiento estomático *anisohídrico*
 - Alta *resistencia a la cavitación*

Anisohídrico vs isohídrico



Tolerante:
Junipero,
anisohídrico

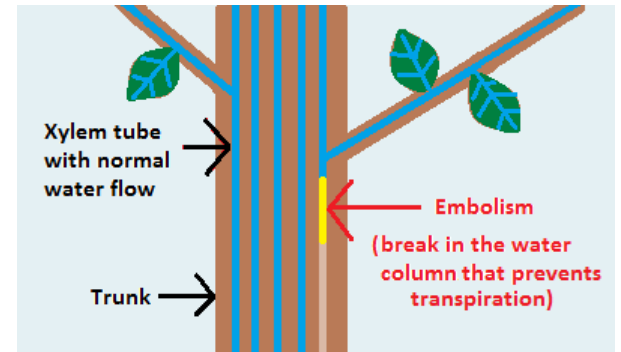
Evitador
Pino,
isohídrico

Fig. 8 Stomatal conductance vs leaf water potential for piñon (open circles) and juniper (closed circles) at Mesita del Buey, Los Alamos, New Mexico. Data from Barnes (1986).

McDowell et al, 2008



Resistencia a la cavitación



Estrategias de resistencia a sequía: *evitadora vs tolerante*

- Riesgos:
 - Evitadora (*isohídrico*): morir por “*Inanición de C*” (sequia de larga duración)
 - Tolerante (*anisohídrico*): morir por “*Falla Hidráulica*” (sequia muy severa)
- En situaciones normales de sequía, ambas estrategias co-existen y son exitosas.
- Eventos de sequía severa extraordinaria recientes han afectado más a las especies consideradas *tolerantes* (caso del Douglas en Francia)

Falla hidráulica o inanición de C?

- Dependiendo de la especie y de las características del estrés hídrico:
- In *Picea abies* “Thirst Beats Hunger”:

Hartmann, Henrik, Waldemar Ziegler, Olaf Kolle, et Susan Trumbore. « Thirst Beats Hunger – Declining Hydration During Drought Prevents Carbon Starvation in Norway Spruce Saplings ». *New Phytologist* (2013): n/a–n/a. doi:10.1111/nph.12331.

- In *Pinus edulis*, ambas falla hidráulica y inanición de C

Sevanto, Sanna, Nate G. McDowell, L. Turin Dickman, Robert Pangle, et William T. Pockman. 2014. « How Do Trees Die? A Test of the Hydraulic Failure and Carbon Starvation Hypotheses ». *Plant Cell Environ* 37 (1): 153-61. doi:10.1111/pce.12141.

- Cuestiones muy discutidas....

Anderegg, William R. L., Joseph A. Berry, Duncan D. Smith, John S. Sperry, Leander D. L. Anderegg, et Christopher B. Field. 2012. « The roles of hydraulic and carbon stress in a widespread climate-induced forest die-off ». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109 (1): 233-37.

Barigah, Têtè Sévérien, Olivia Charrier, Marie Douris, Marc Bonhomme, Stéphane Herbette, Thierry Améglio, Régis Fichot, Frank Brignolas, et Hervé Cochard. 2013. « Water Stress-Induced Xylem Hydraulic Failure Is a Causal Factor of Tree Mortality in Beech and Poplar ». *Ann Bot* 112 (7): 1431-37. doi:10.1093/aob/mct204. doi:10.1073/pnas.1107891109.

Resistencia... y resiliencia

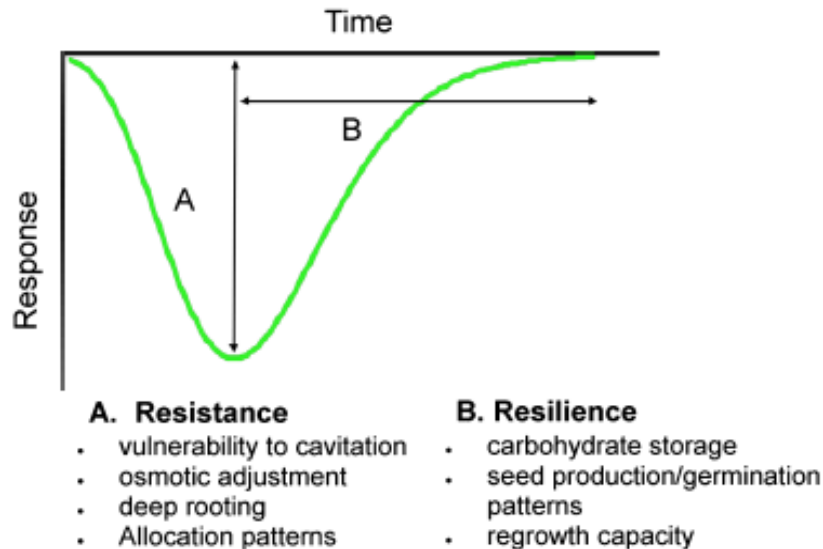


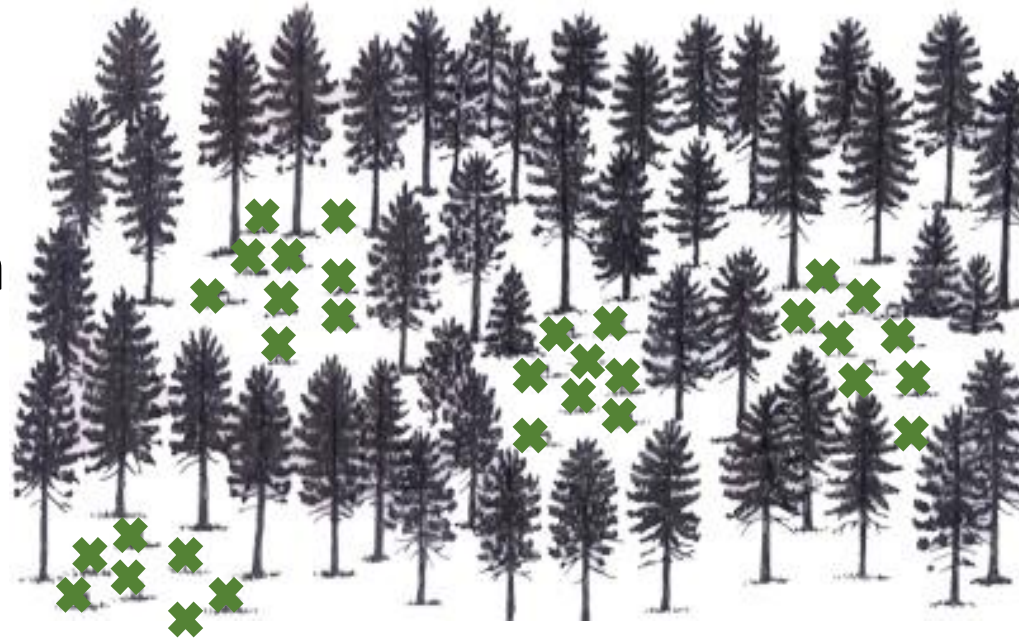
Fig. 1 A simplified conceptual diagram of plant responses to drought. The response curve (green line) represents changes in plant function in response to a single drought event. The magnitude of the response is determined by (A) resistance traits, whereas the time for plant function to return to pre-drought conditions is determined by (B) resilience traits. Some examples of such resistance or resilience traits are presented.

O'Grady et al, 2013

- Capacidad de reparación de embolismos
- Capacidad de formación de nuevo xilema
- Capacidad de desarrollo de nuevas áreas foliares y raíces finas

Decaimientos y evolución

- Fracaso de un sistema de producción... o proceso evolutivo de selección natural?
- Si el número de sobrevivientes es suficientemente alto
- Los supervivientes son más resistentes

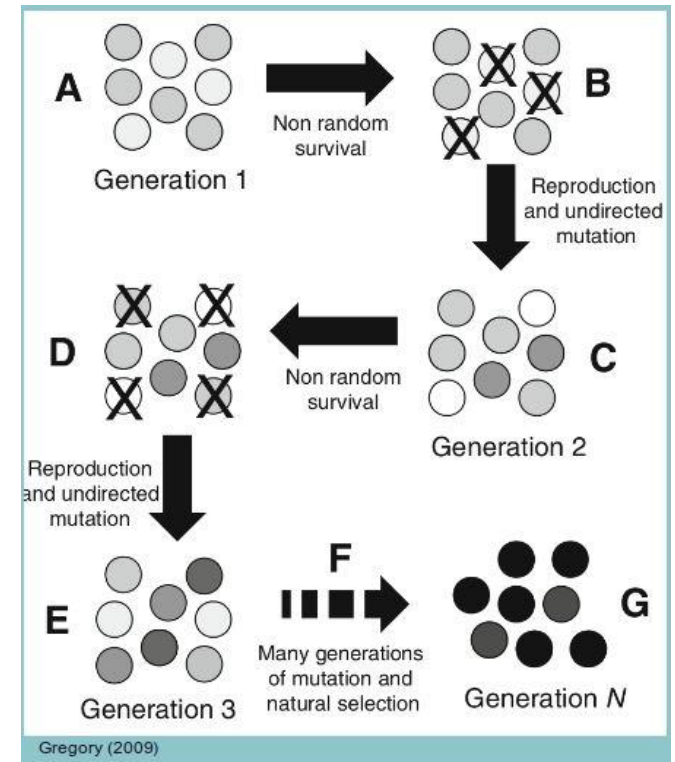


Decaimientos y evolución

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>

El ejemplo del Douglas (*Pseudotsuga menziesii*) en Francia



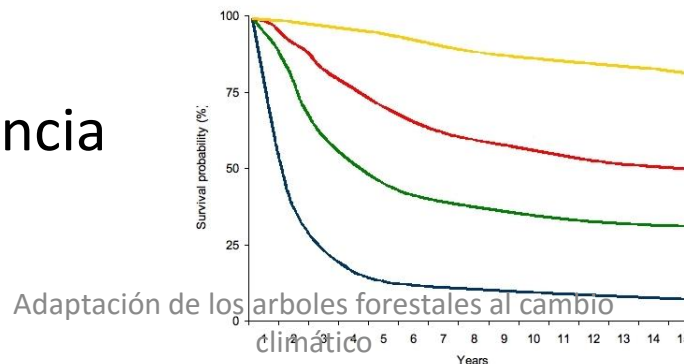
- Existe un potencial de adaptación genética a la sequía?

Caracteres adaptativos para la resistencia a la sequía

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



- **Supervivencia**



Comparar árboles vivos y muertos

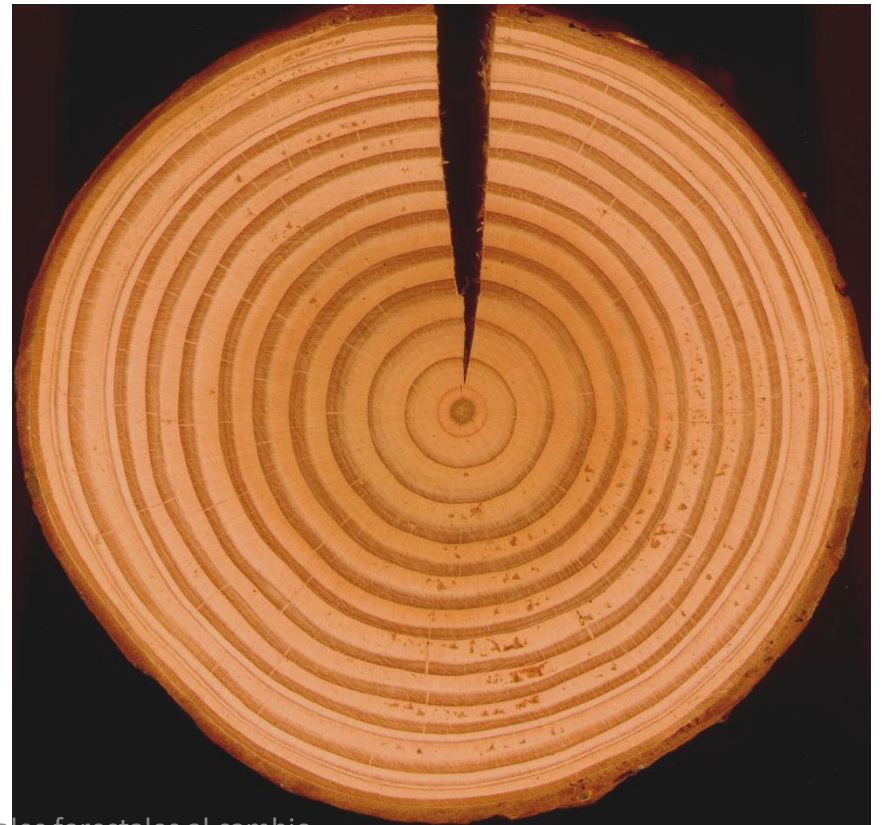
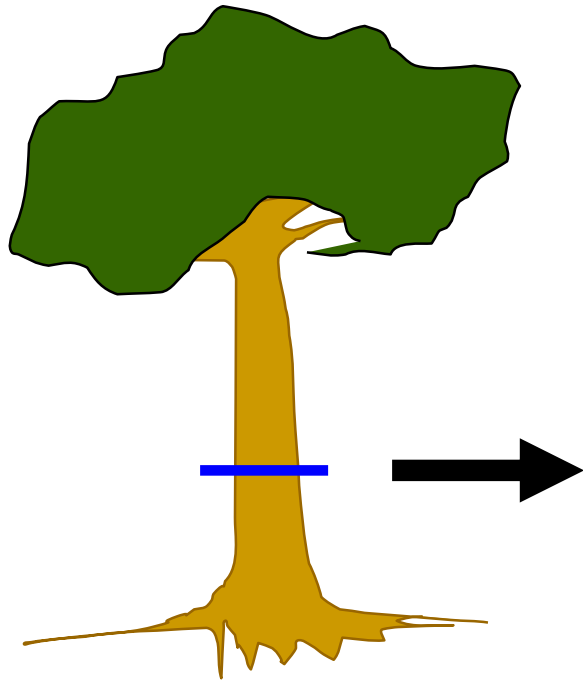
- Caracteres que se pueden medir tanto en árboles vivos como en árboles muertos:

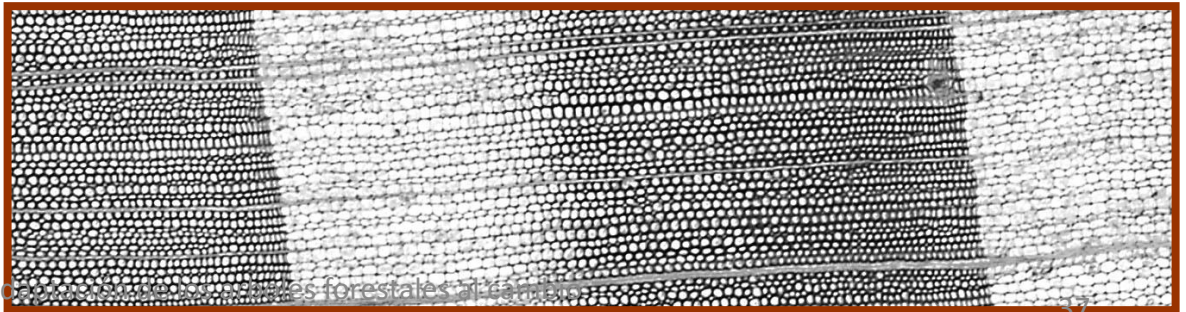
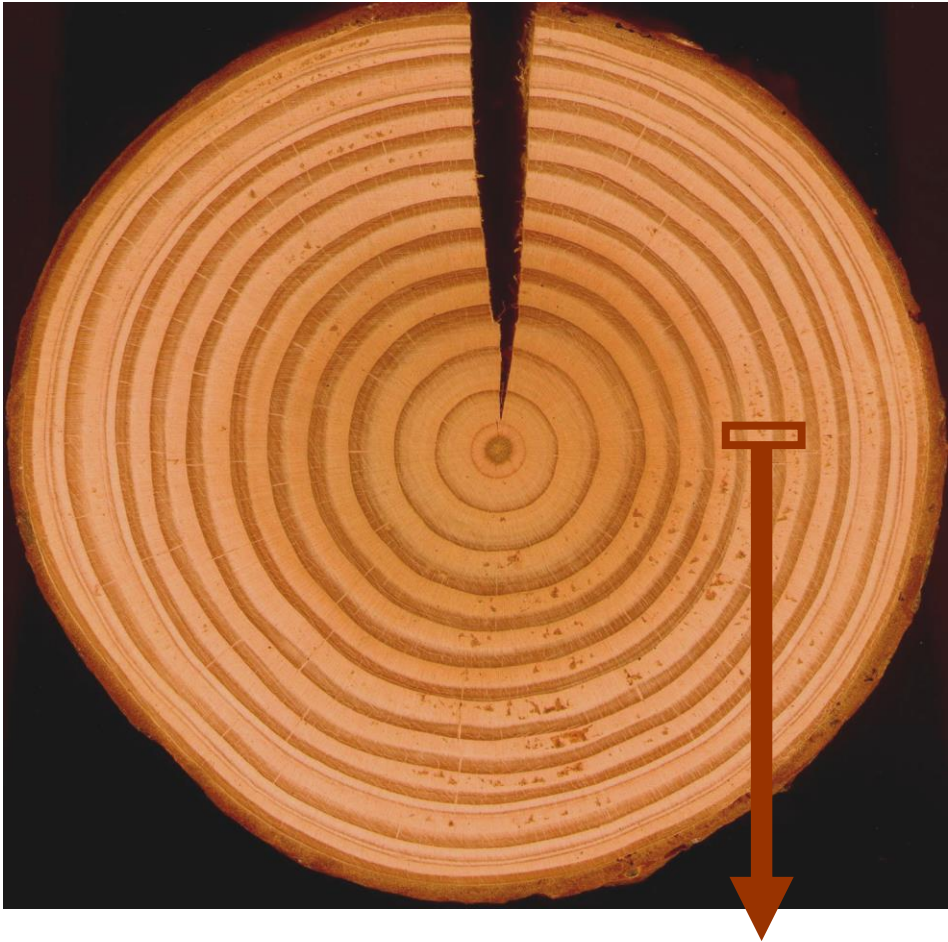


...que se pueden medir a escala compatible con una buena estimación de los parámetros genéticos.

Comparar árboles vivos y muertos

- Madera y anillos de crecimiento

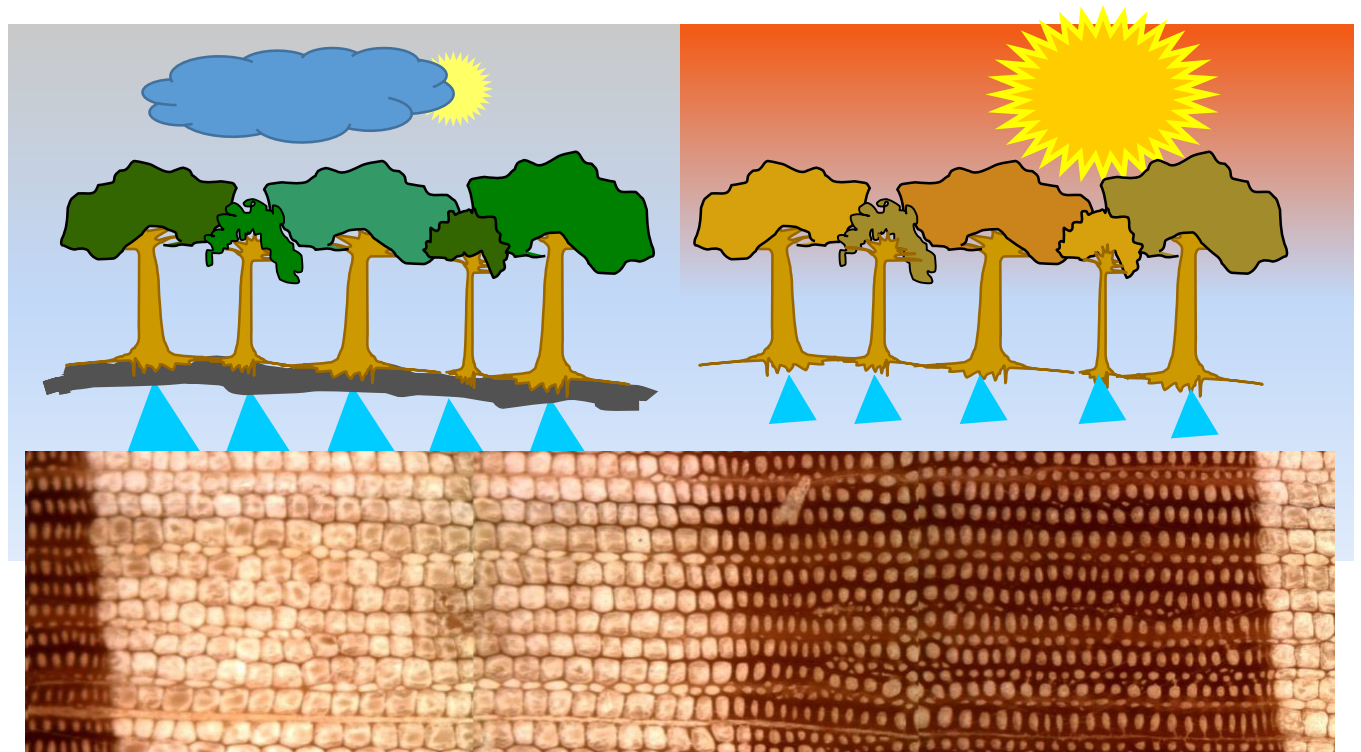




Acción de los factores forestales al cambio climático

Los anillos

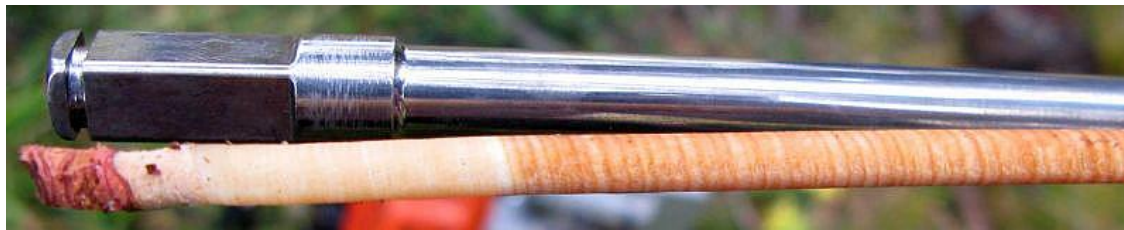
- Un anillo = (un año) una estación de crecimiento
- Funciones
 - Soporte
 - Reservas
 - Conducción
- Acceso retrospectivo



La microdensidad

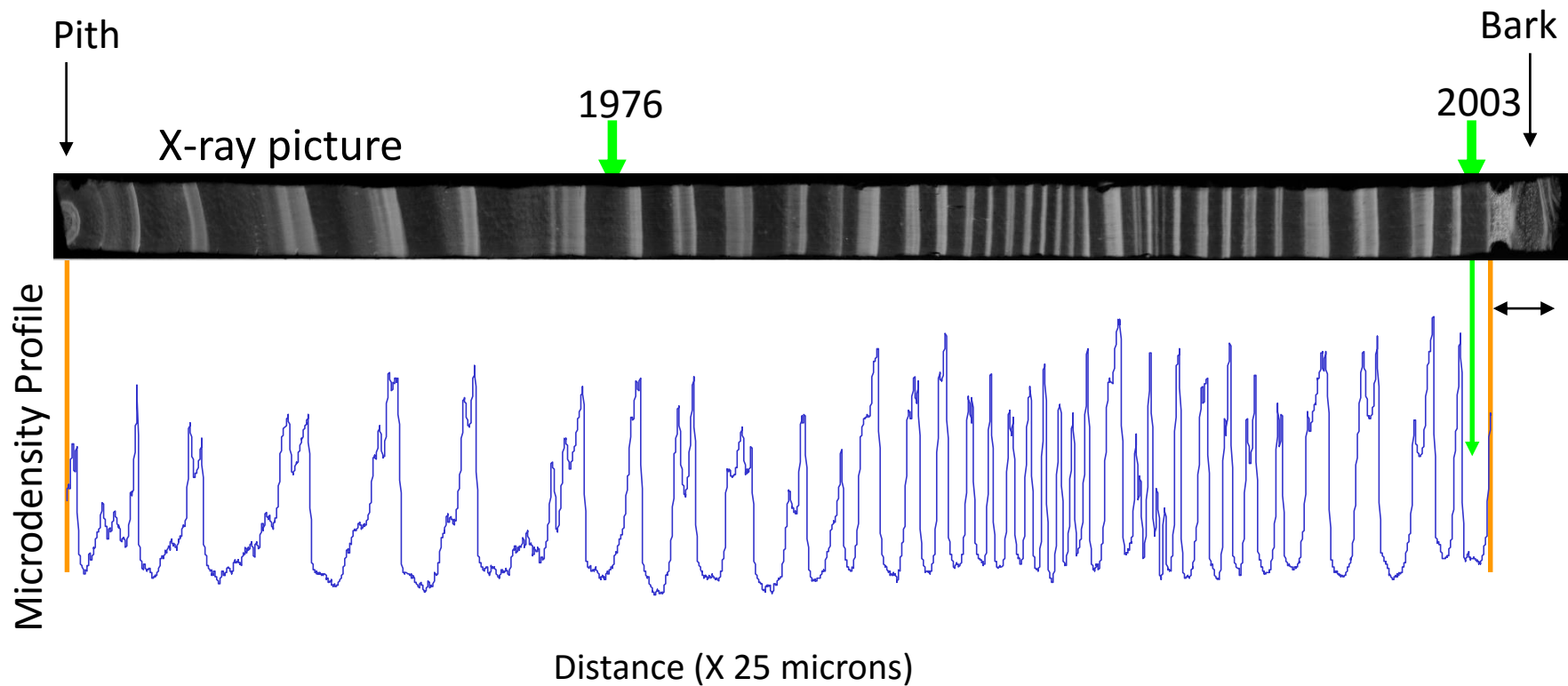


Muestras non-destructivas: las birutas (o tarugos)



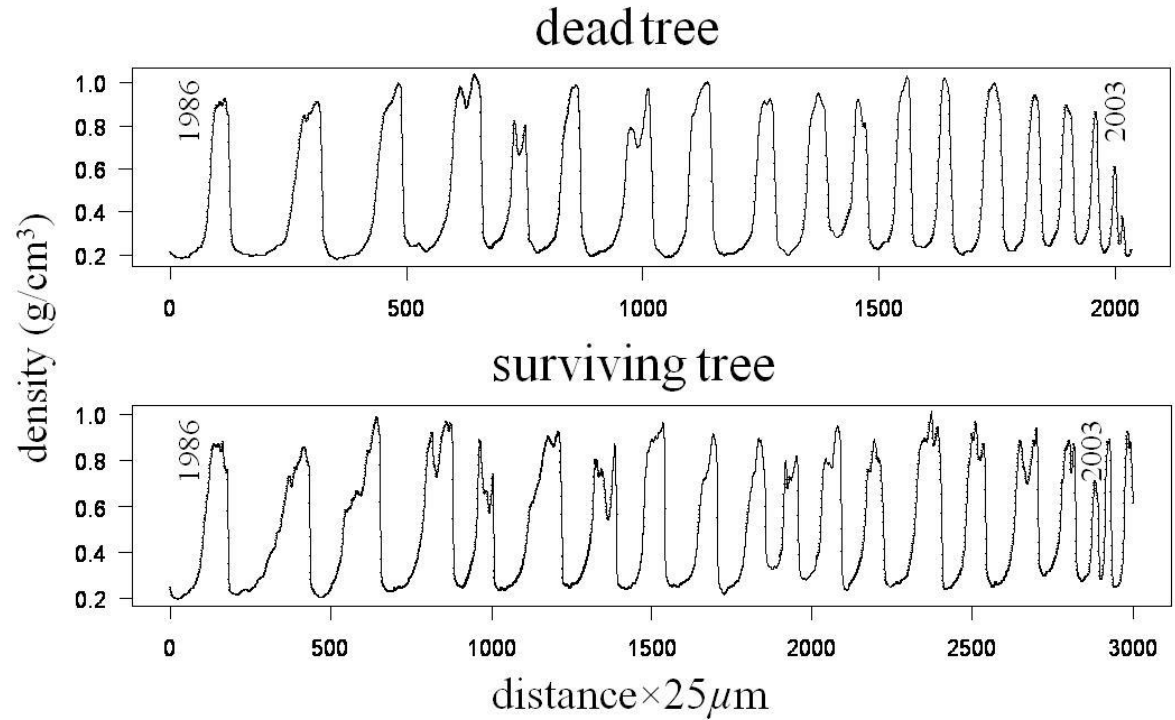
Adaptación de los arboles forestales al cambio
climático

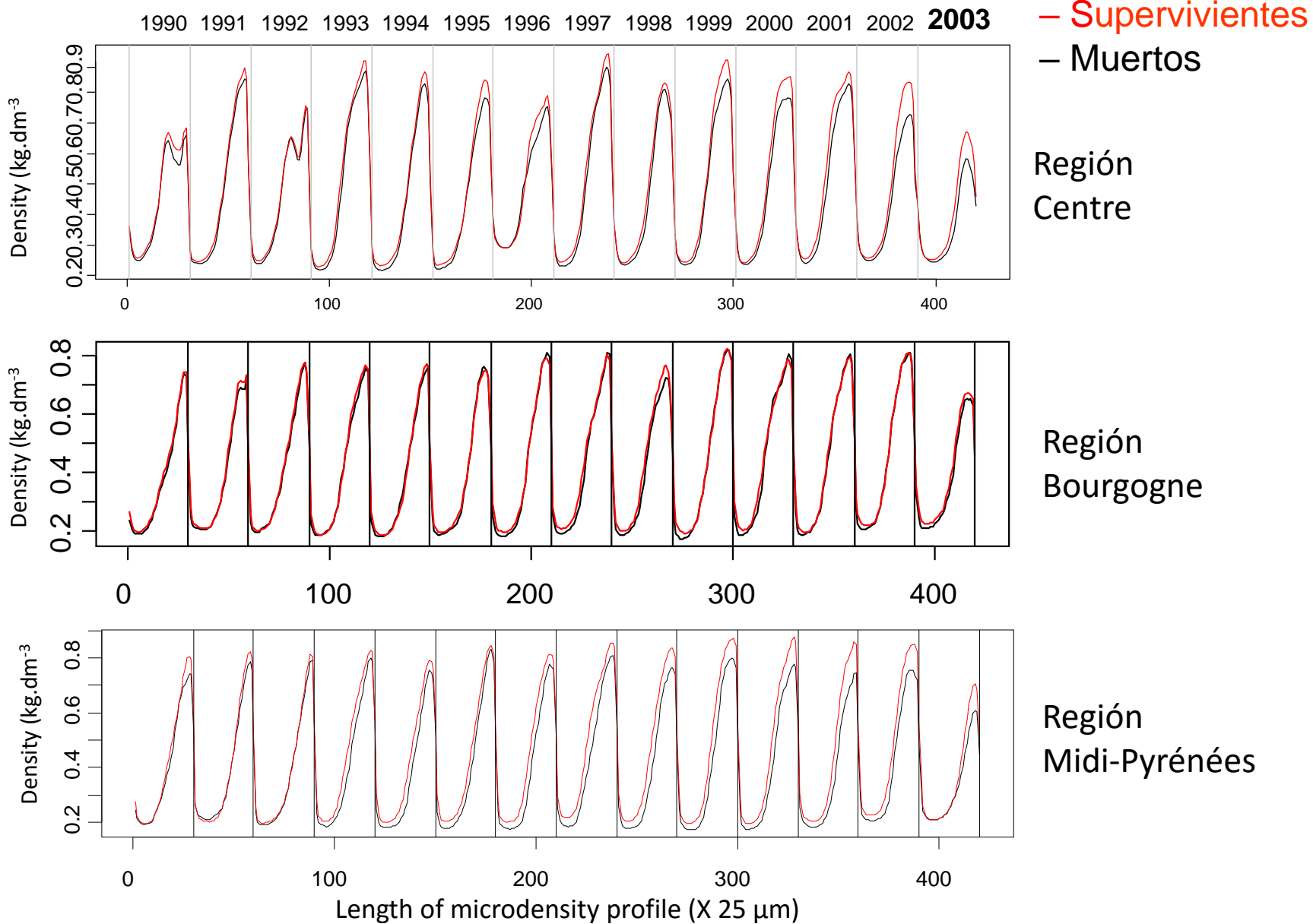
Perfiles de microdensidad



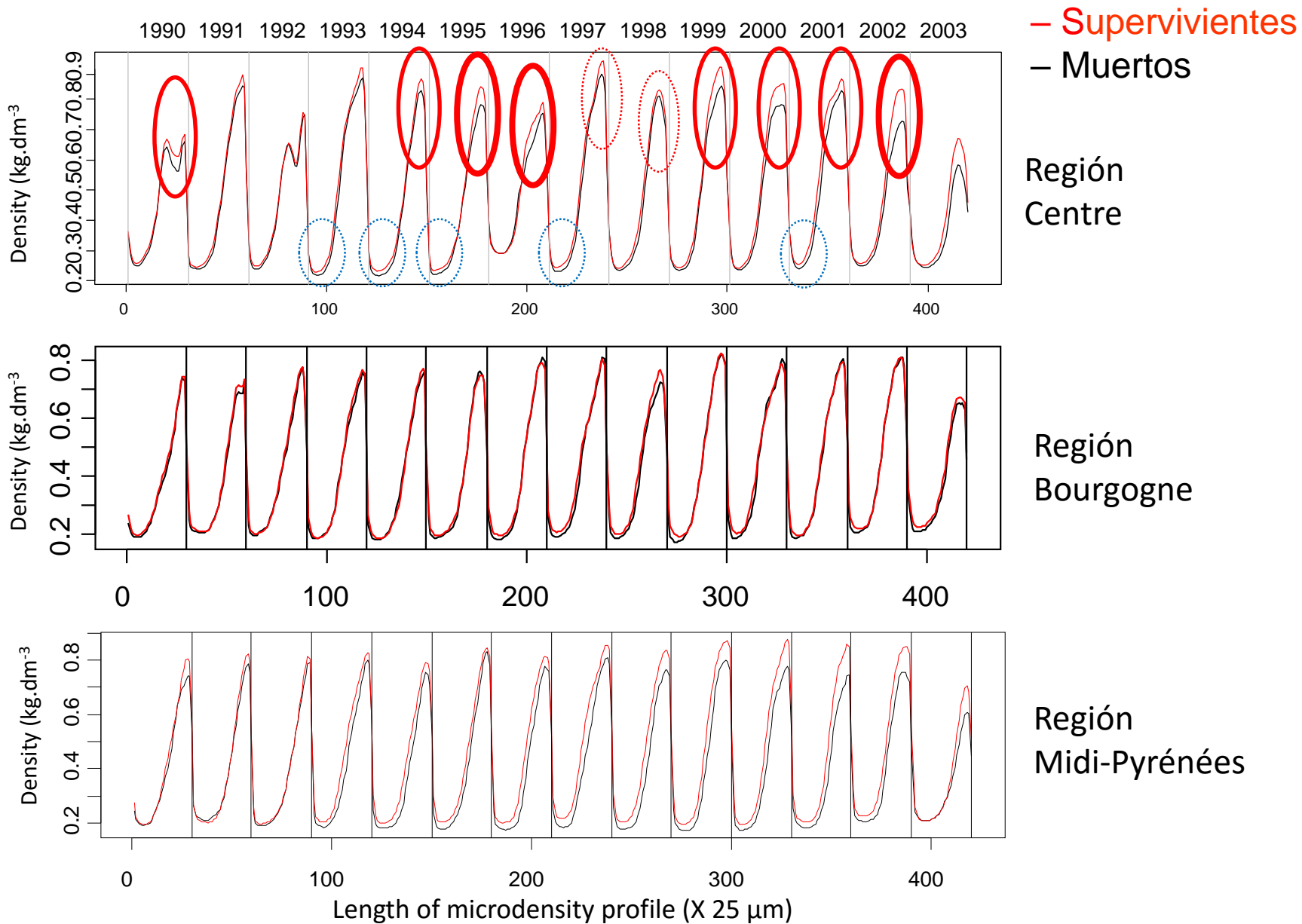
Perfiles de árboles vivos y muertos

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).

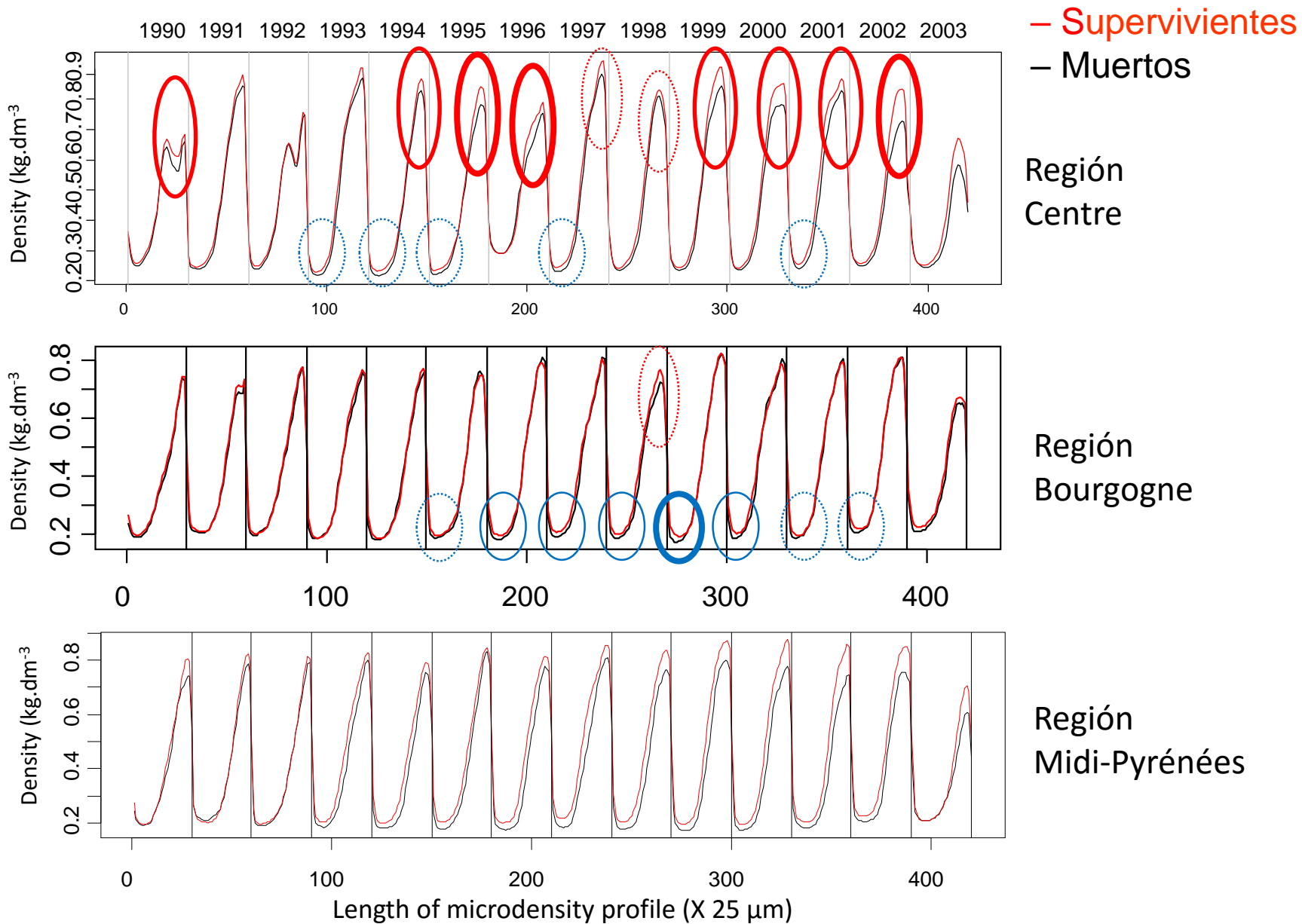




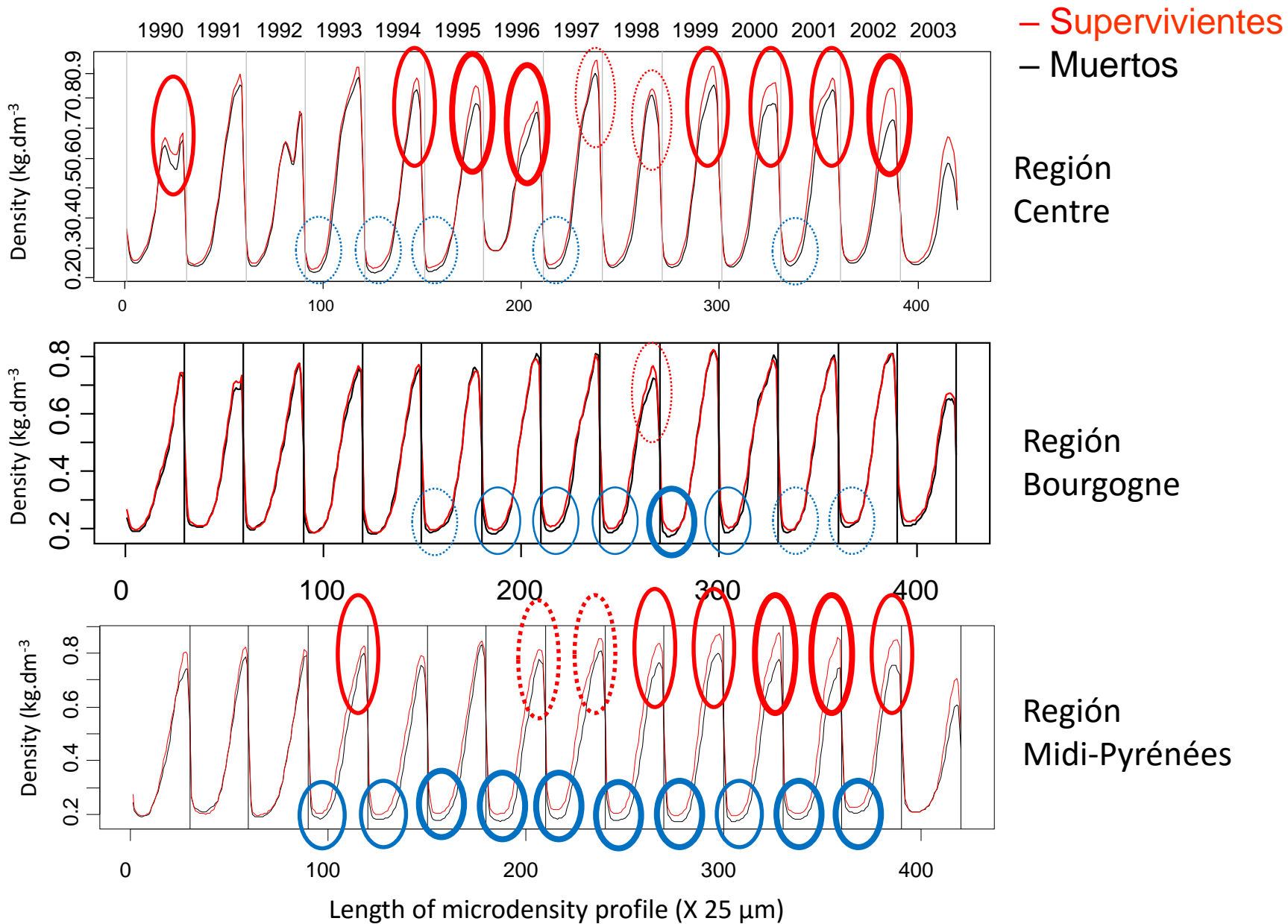
Ruiz Diaz Britez, Manuela, Anne-Sophie Sergent, Alejandro Martinez Meier, Nathalie Bréda, et Philippe Rozenberg. « Wood density proxies of adaptive traits linked with resistance to drought in douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) ». *Trees*, s. d., 1-16.



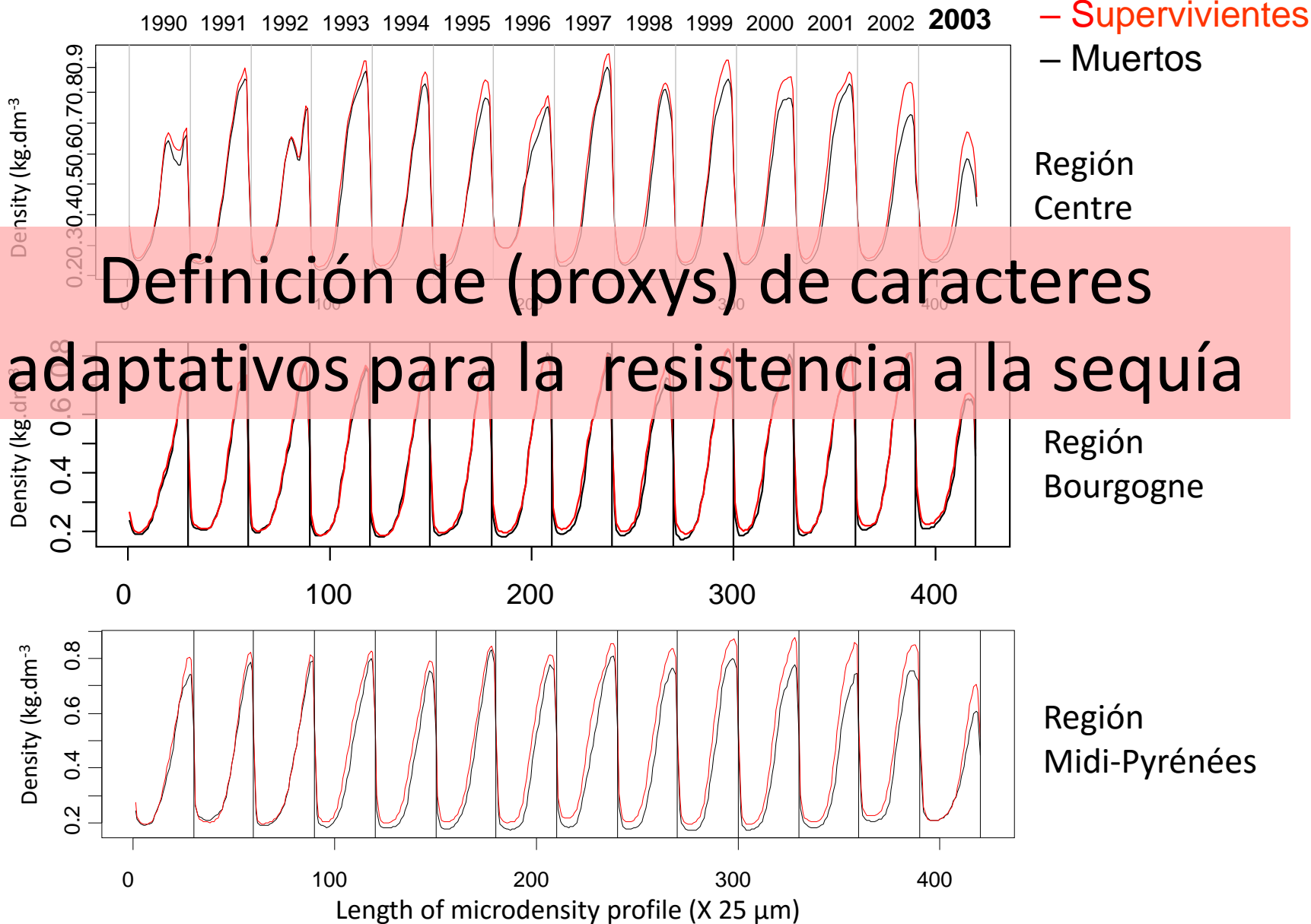
Britez, Manuela Ruiz Diaz, Anne-Sophie Sergent, Alejandro Martinez Meier, Nathalie Bréda, et Philippe Rozenberg. « Wood density proxies of adaptive traits linked with resistance to drought in douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) ». *Trees*, s. d., 1-16.



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.



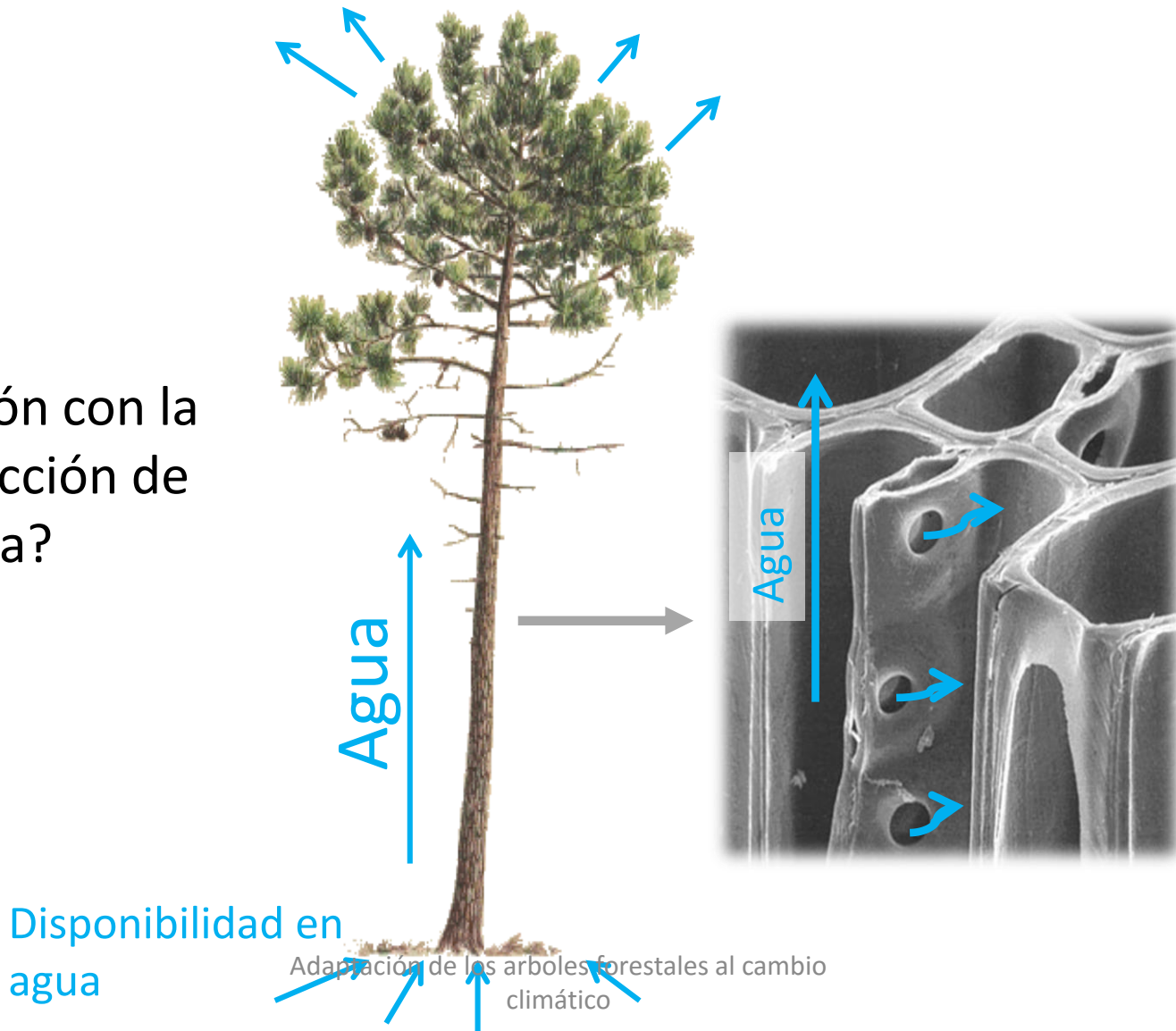
Britez, Manuela Ruiz Diaz, Anne-Sophie Sergent, Alejandro Martinez Meier, Nathalie Bréda, et Philippe Rozenberg. « Wood density proxies of adaptive traits linked with resistance to drought in douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) ». *Trees*, s. d., 1-16.



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.

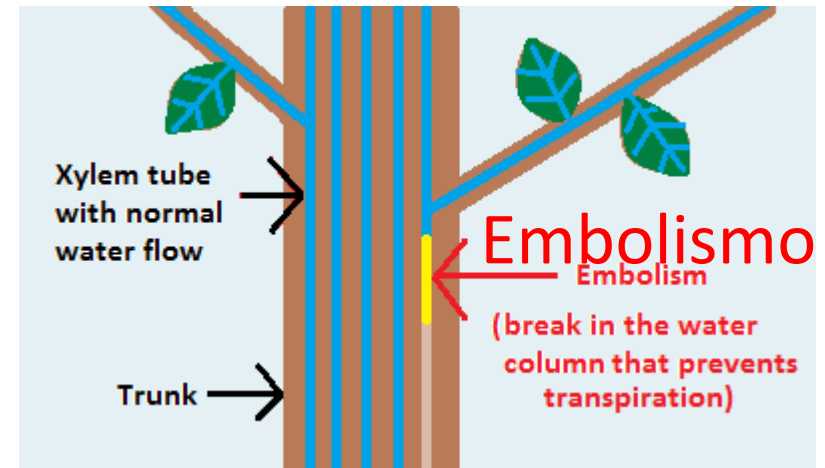
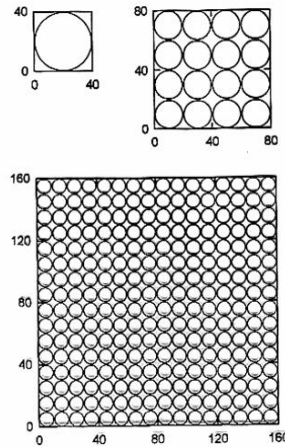
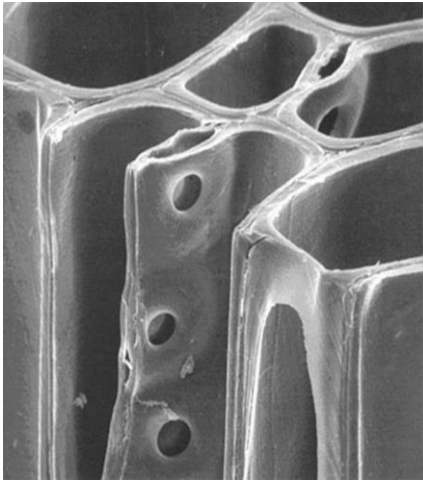
Supervivientes: una densidad más alta

Relación con la conducción de la sabia?



Porque una densidad mas alta?

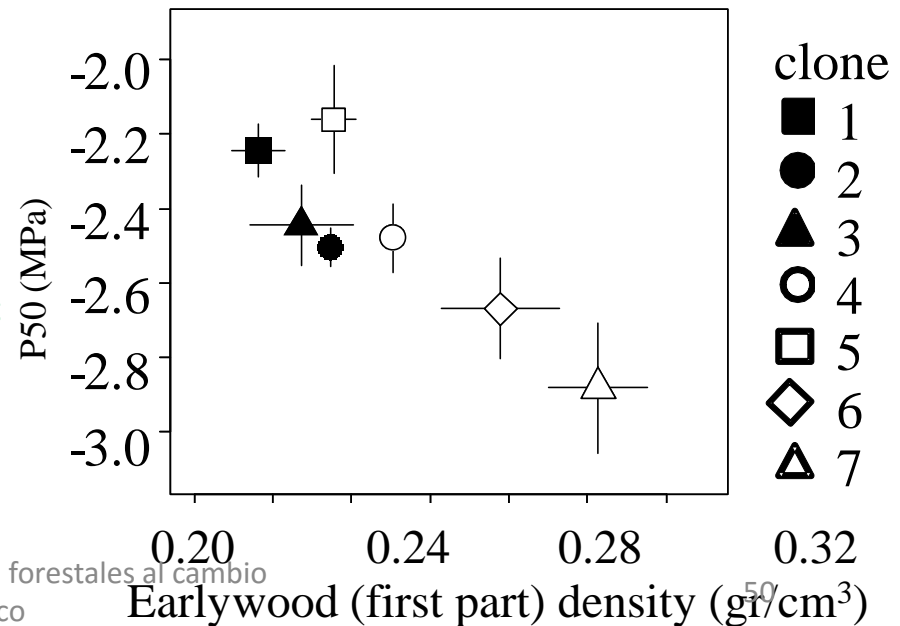
- Conductividad: diámetro de las células a la potencia 4!



- Árboles con células más pequeñas:
 - Conductividad mas baja
 - más resistentes al embolismo
 - **densidad** más alta
 - (-> las puntaciones también...)

Variables de microdensidad y resistencia a la cavitación

level	P12		P50		P88	
	tree	clonal	tree	Clonal	tree	clonal
microdensity						
Mean Ring Density			-0.56	-0.76	-0.70	-0.84
Minimum Density			-0.57	-0.76	-0.71	-0.89
Earlywood Density			-0.57	-0.77	-0.73	-0.85
Earlywood (first part) density			-0.71	-0.85	-0.84	-0.97
Maximum Density	-0.65	-0.85				
Latewood Density	-0.54	-0.78				



Adaptación de los árboles forestales al cambio climático

Dalla-Salda, G., A. Martinez-Meier, H. Cochard, et P. Rozenberg. 2011. « Genetic Variation of Xylem Hydraulic Properties Shows That Wood Density Is Involved in Adaptation to Drought in Douglas-Fir (*Pseudotsuga Menziesii* (Mirb.)). » *Annals of Forest Science* 68 (4).

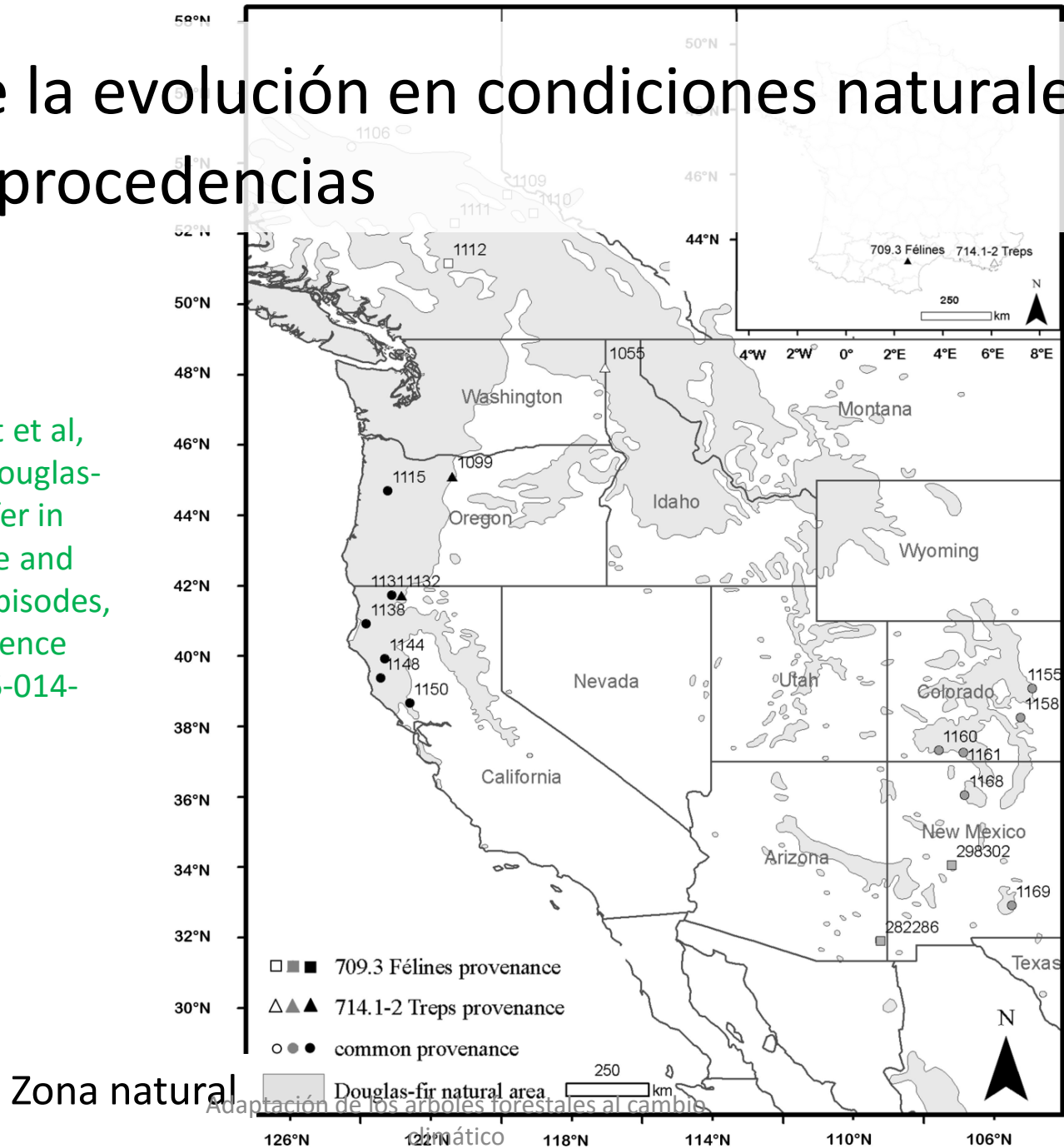
Especies tipo *evitadoras*

- (no madera en la resistencia a la sequia -> otros caracteres adaptativos)
- Otras estrategias para otros caracteres:
 - Ensayos en condiciones controladas: medir caracteres *antes* aplicación de estrés hasta llegar a una cierta tasa de mortandad
 - Estudios en condiciones naturales; huellas de la adaptación

Huellas de la evolución en condiciones naturales

1. Uso de procedencias

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



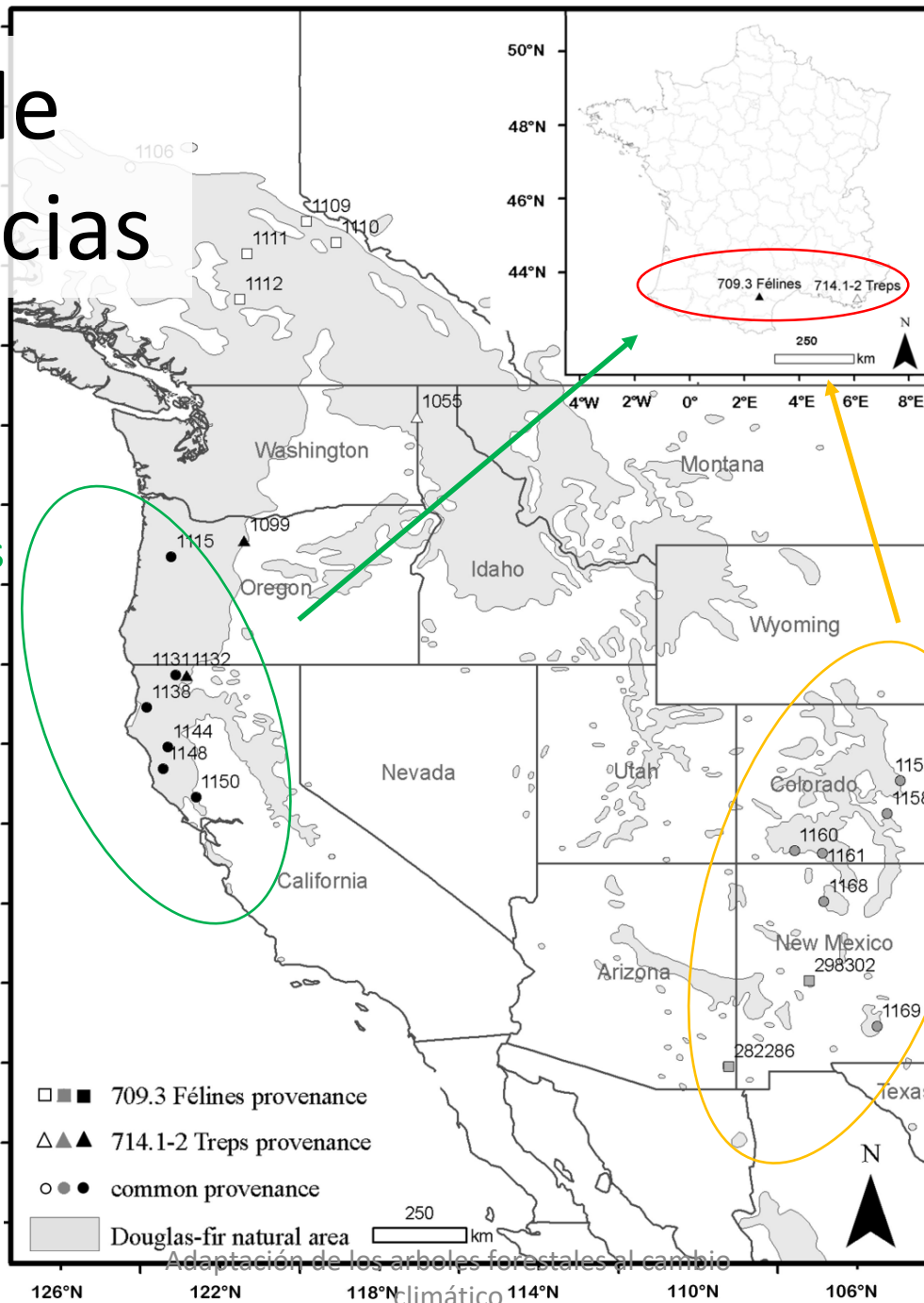
Ensayos de procedencias

Ensayos en Francia (« common garden »)

Procedencias Costeras

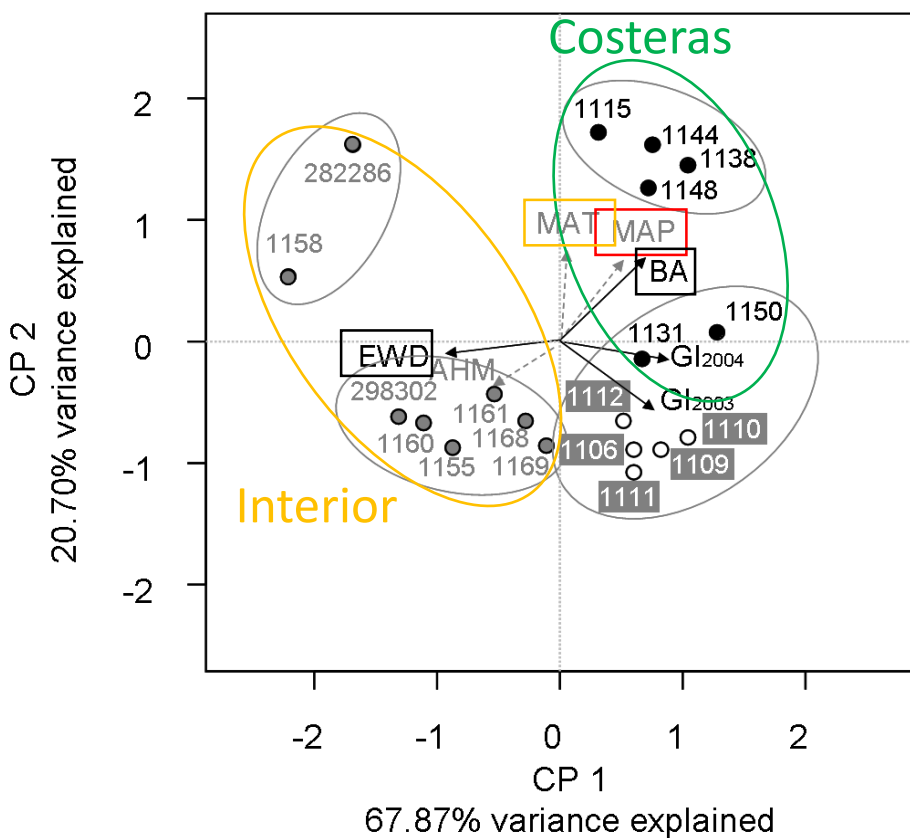
Procedencias del Interior

Zona natural

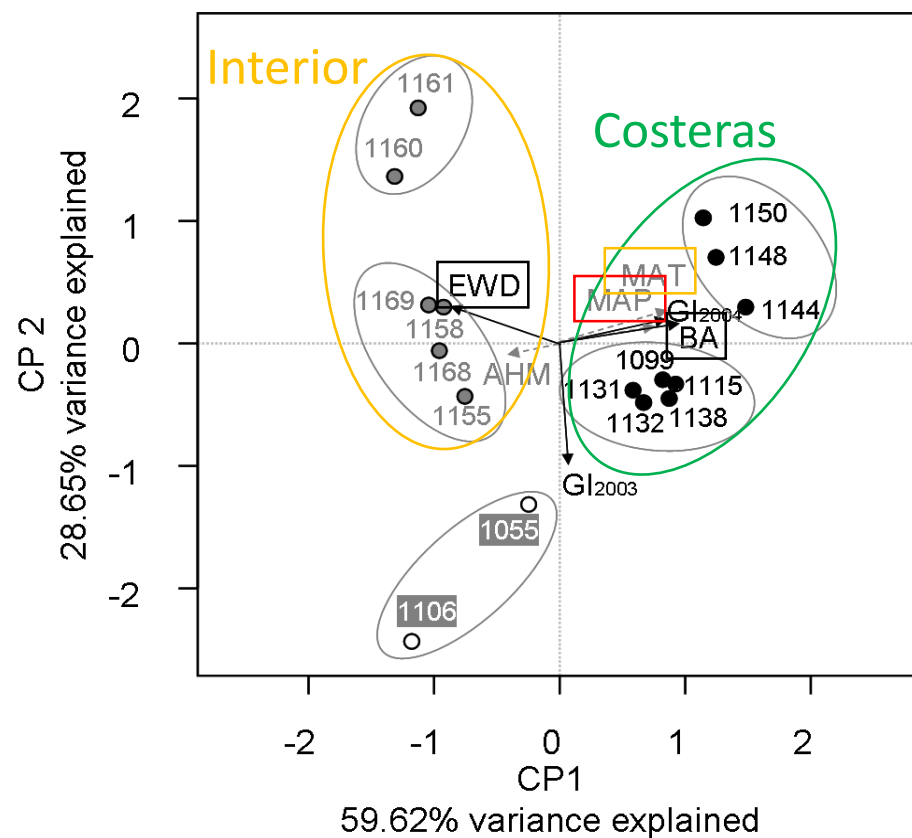


Análisis multivariante

a. Ensayo Félines



b. Ensayo Le Trepas



Pero... Interior: desventajas

- Crecimiento lento
- Plagas: sensibles a *Rhabdocline* spp. & *Phaeocryptopus gaeumannii*
- Potencial de adaptación dentro de la zona costera



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

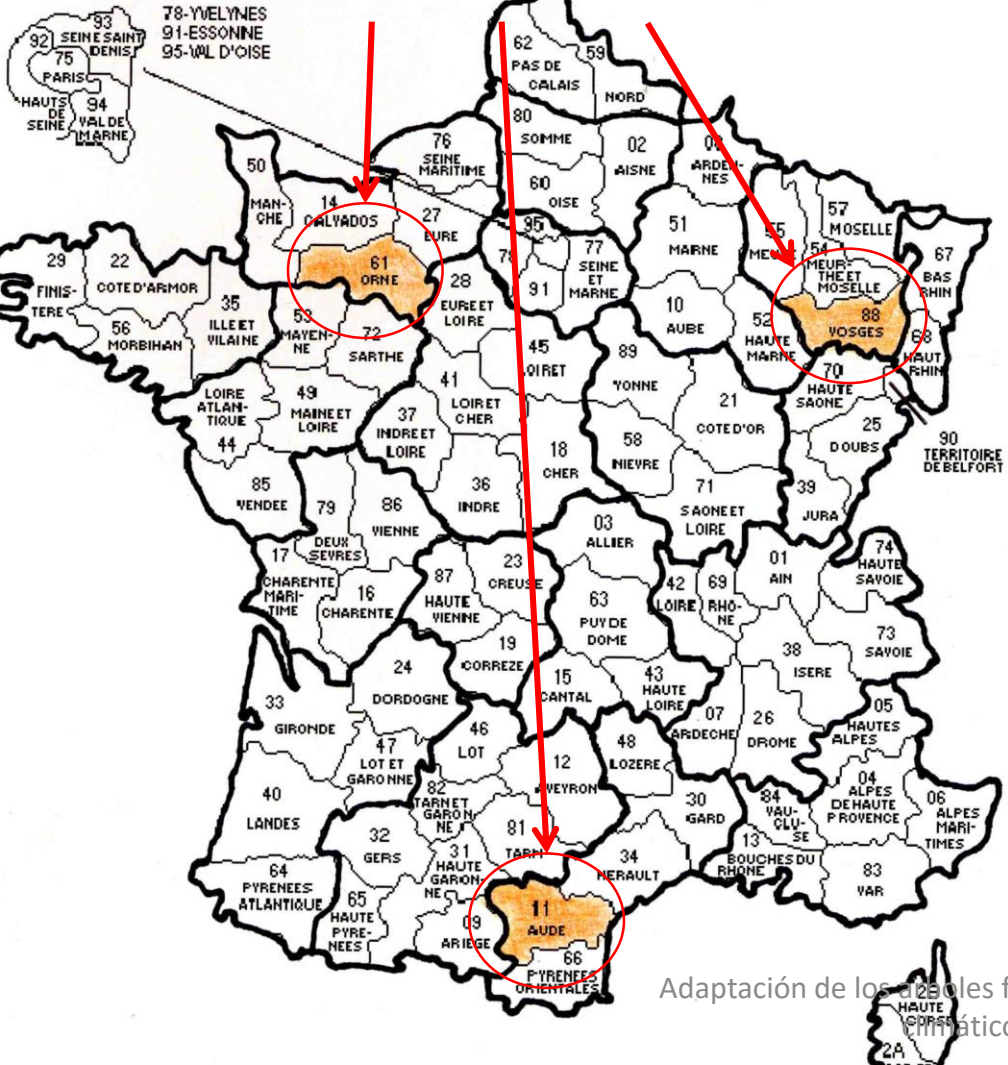
Adaptación de los árboles forestales al cambio climático

Costeras?

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

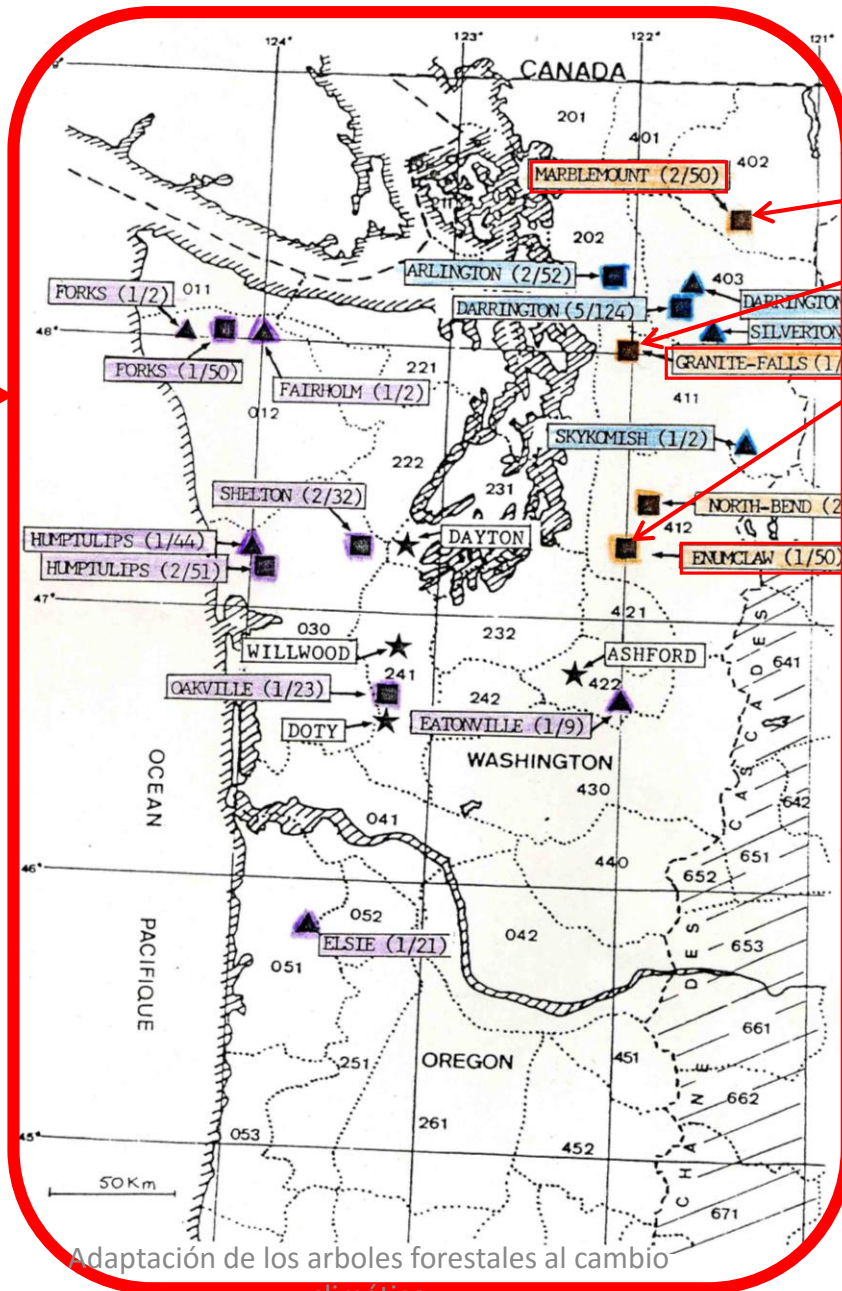
Uso de familias: determinismo genético de caracteres de resistencia a la sequia.

Orne, Aude, Vosges



Adaptación de los árboles forestales al cambio climático

Zona natural
del Douglas



Tres procedencias

Marblemount

Granite-Falls

Enumclaw

56 familias

Representativas
del Douglas
plantado en
Francia

Adaptación de los arboles forestales al cambio
climático

1600 birutas (tarugos)



1600 perfiles de microdensidad

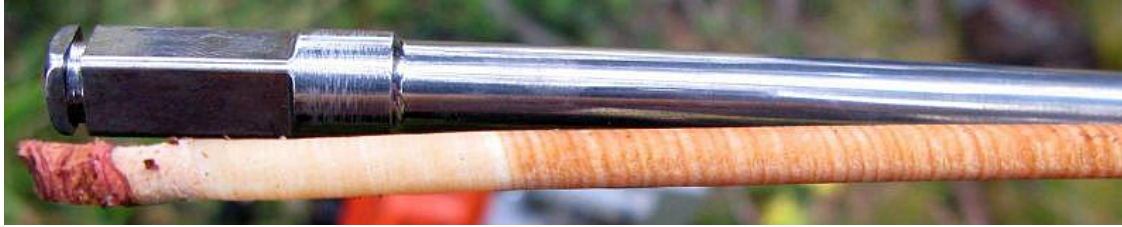
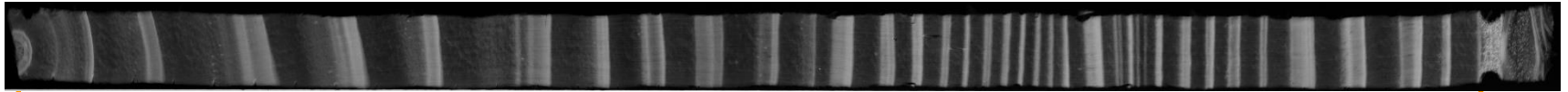
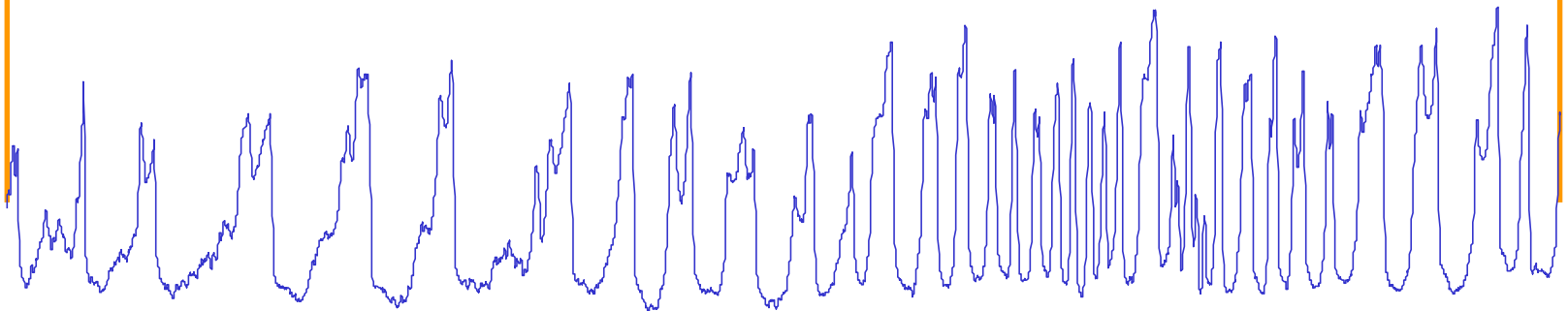


Imagen rayos X



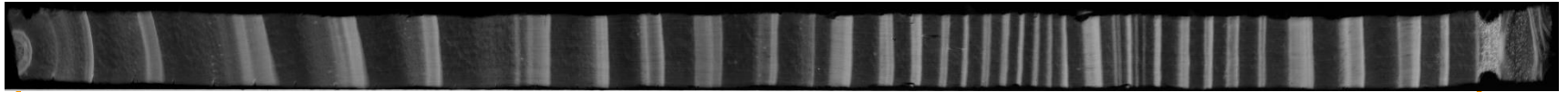
perfil de microdensidad



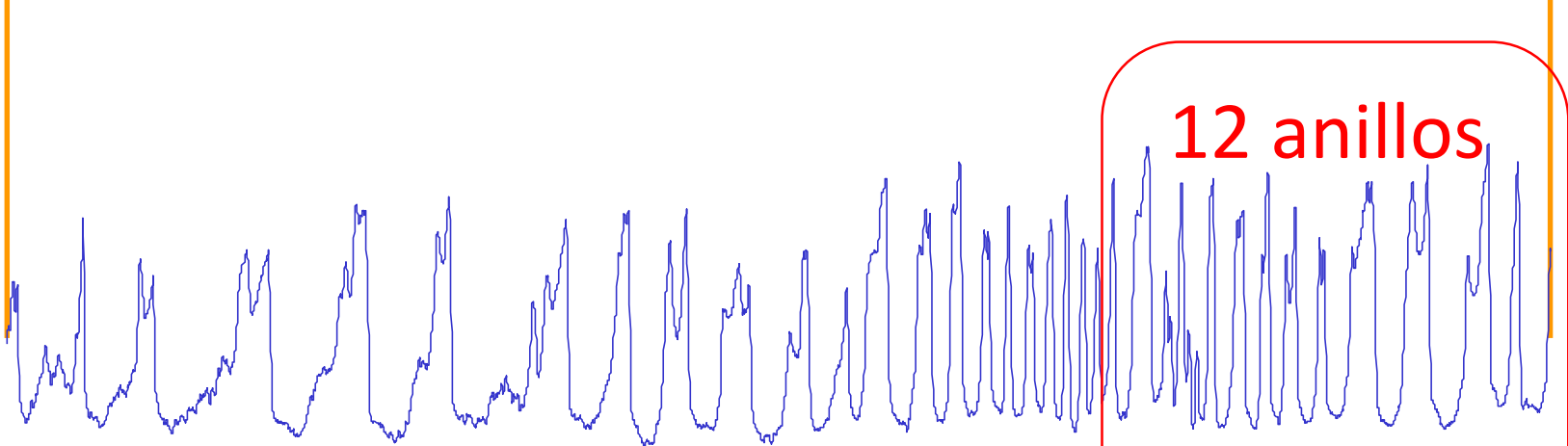
Distancia (X 25 micrones)



Imagen rayos X



perfil de microdensidad



12 anillos
12 años

Resultados

- Heredabilidad y variancia genética de (proxys) de caracteres de resistencia a la sequía
- Identificación de (proxys) caracteres con un potencial de mejoramiento genético alto



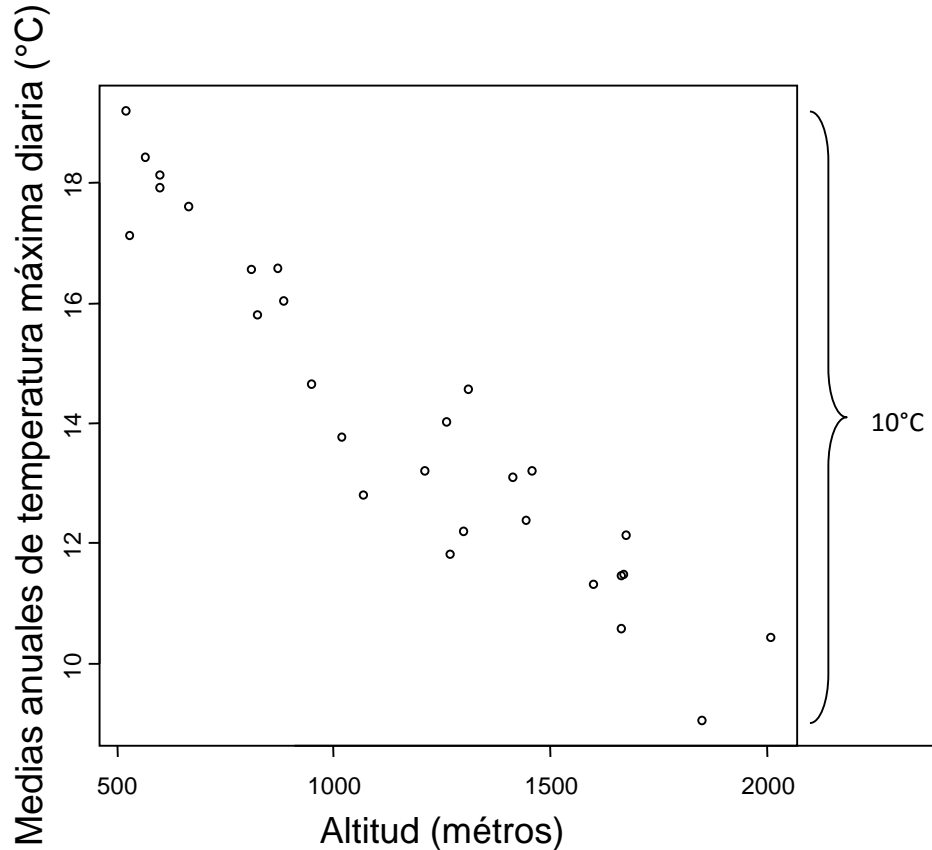
Huellas de la evolución en condiciones naturales

- Buscar huellas fenotípicas y genéticas de adaptaciones locales a lo largo de gradientes ambientales cortos
 - Disminuir el peso de los mecanismos evolutivos no selectivos
- En el caso del cambio climático, los gradientes de temperaturas son muy pertinentes
- Aproxes genéticas basadas sobre marcadores moleculares tipo SNPs

En las montañas las poblaciones de arboles forestales se distribuyen a lo largo de gradientes altitudinales = gradientes de temperatura

Año 2005, medias anuales de las temperaturas de las estaciones meteorológicas del departamento de Hautes-Alpes, Francia

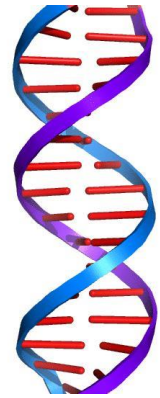
+ 10°C sobre 1500 m



Presiones de selección



Genética molecular de la respuesta a la sequía



© 2011

- Perspectivas:
 - Marcadores moleculares para la estimación del determinismo genético y/o de la adaptación local
 - en bosques naturales

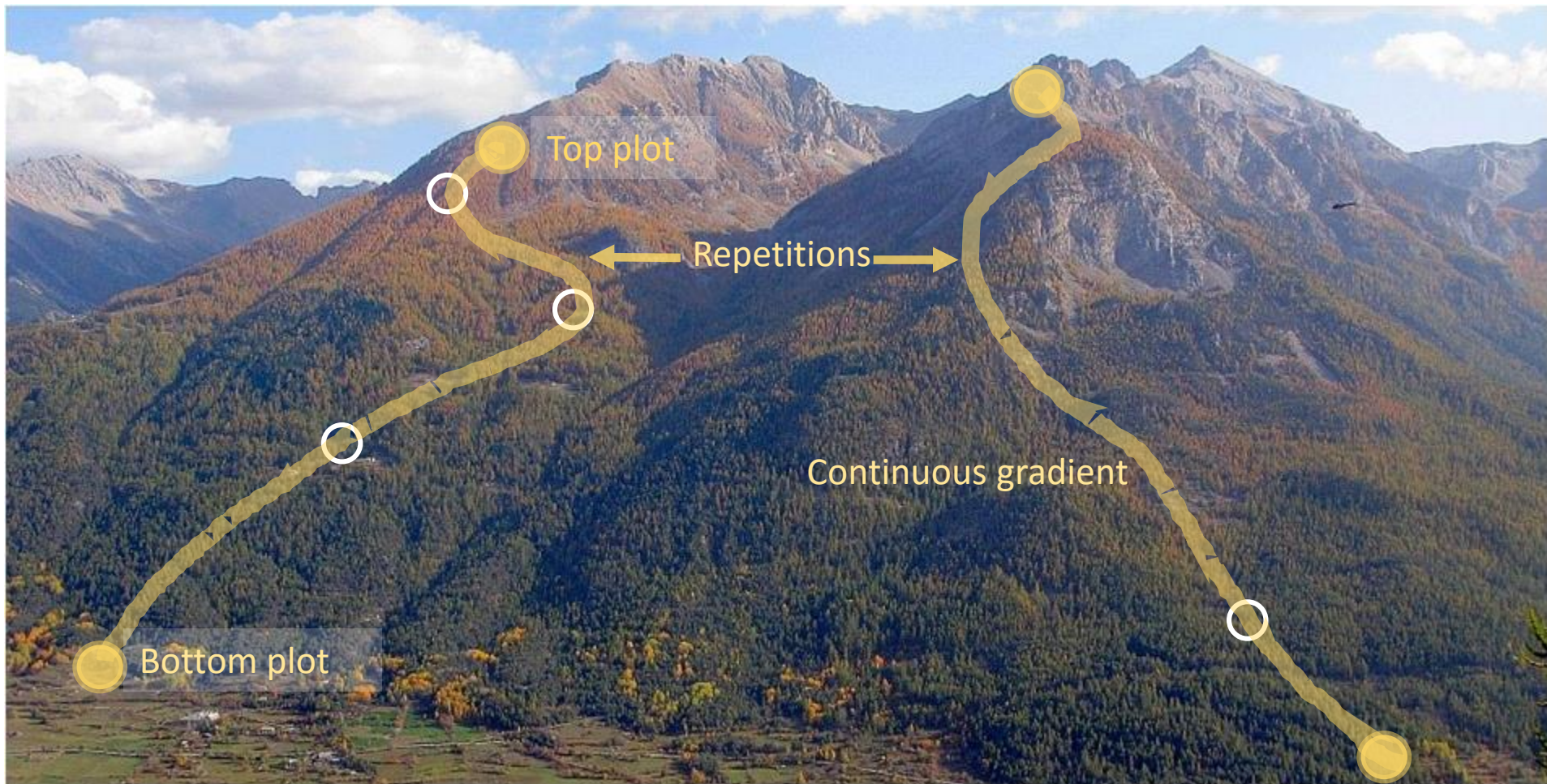
Besega, C., B. O Saidman, M. R Darquier, M. Ewens, L. Sanchez, P. Rozenberg, et J. C Vilardi. 2009. « Consistency Between Marker- And Genealogy-Based Heritability Estimates In An Experimental Stand Of *Prosopis Alba* (Leguminosae). » *American Journal Of Botany* 96 (2): 458-65.

- Con marcadores microsatelites y SNPs: gradiente ambiental



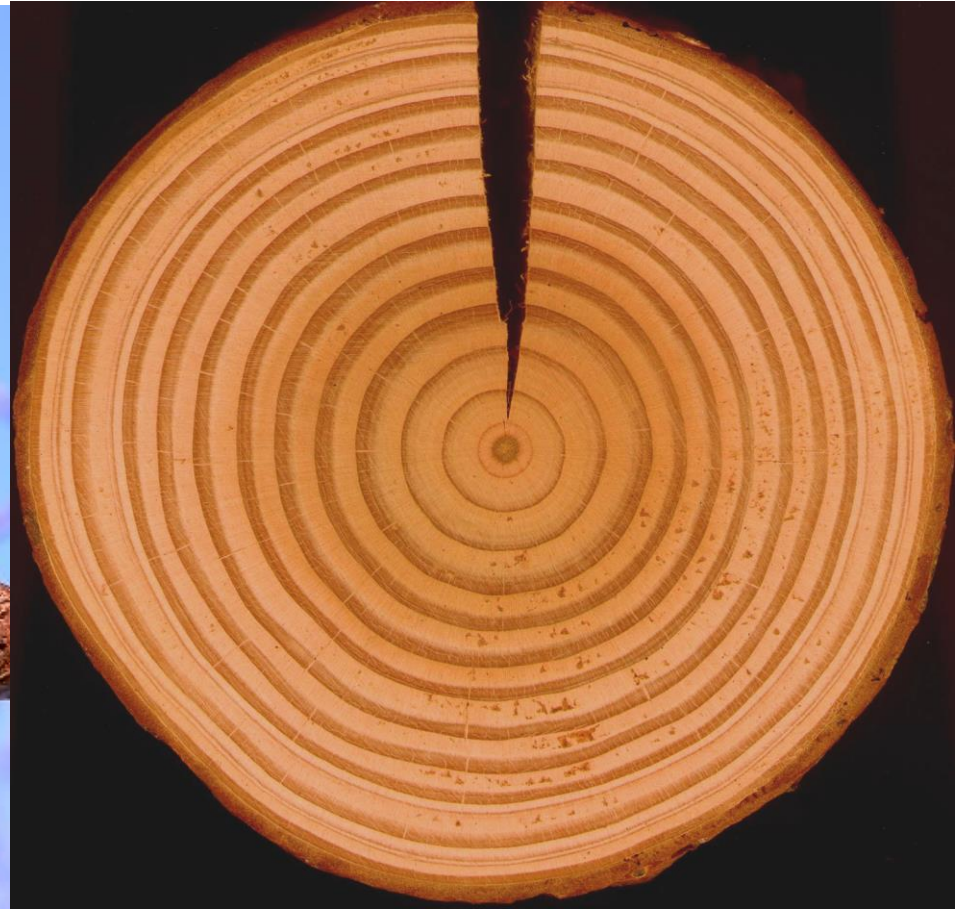
Adaptación de los árboles a los cambios climáticos

Gradientes de altitud



Efectos no letales del cambio climático

- Fenología de la brotación, crecimiento



Efecto sobre la fenología

- Altas latitudes norte 2000–10: estación de crecimiento mas larga
 - Fecha de principio mas temprana: 4,7 días/10 años
 - Fecha de fin mas tardia: 1,6 dias/10 años
- Diferencias América del Norte / Eurasia
 - América del Norte, fecha de principio mas temprana de 11,5 días/10 años, fecha de fin mas tardía de 2,2 días/10 años
 - Eurasia, fecha de principio mas temprana de 2,7 días/10 años, date de fin plus tardive de 3,5 días/10 años.

Zeng, Heping, Gensuo Jia, et Howard Epstein. 2011. « Recent Changes in Phenology over the Northern High Latitudes Detected from Multi-satellite Data ». *Environmental Research Letters* 6 (4) (janvier 1): 045508. doi:10.1088/1748-9326/6/4/045508.

- 1982–2011, promedio a escala mundial -1.4 ± 0.6 días/10 años

Wang, Xuhui, Shilong Piao, Xiangtao Xu, Philippe Ciais, Natasha MacBean, Ranga B. Myneni, et Laurent Li. 2015. « Has the Advancing Onset of Spring Vegetation Green-up Slowed down or Changed Abruptly over the Last Three Decades? ». *Global Ecology and Biogeography* 24 (6): 621-31. doi:10.1111/geb.12289.

Efecto sobre la fenología

- Altas latitudes norte 2000–10: estación de crecimiento mas larga
 - Fecha de principio mas temprana: 4,7 días/10 años
 - Fecha de fin mas tardia: 1,6 dias/10 años
- Diferencias América del Norte / Eurasia
 - América del Norte, fecha de principio mas temprana de **11,5** días/10 años, fecha de fin mas tardía de **2,2** días/10 años
 - Eurasia, fecha de principio mas temprana de **2,7** días/10 años, date de fin plus tardive de 3,5 días/10 años.

Zeng, Heqing, Gensuo Jia, et Howard Epstein. 2011. « Recent Changes in Phenology over the Northern High Latitudes Detected from Multi-satellite Data ». *Environmental Research Letters* 6 (4) (janvier 1): 045508. doi:10.1088/1748-9326/6/4/045508.

- 1982–2011, promedio a escala mundial -1.4 ± 0.6 días/10 años

Wang, Xuhui, Shilong Piao, Xiangtao Xu, Philippe Ciais, Natasha MacBean, Ranga B. Myneni, et Laurent Li. 2015. « Has the Advancing Onset of Spring Vegetation Green-up Slowed down or Changed Abruptly over the Last Three Decades? ». *Global Ecology and Biogeography* 24 (6): 621-31. doi:10.1111/geb.12289.

Efecto sobre la fenología

- Altas latitudes norte 2000–10: estación de crecimiento mas larga
 - Fecha de principio mas temprana: 4,7 días/10 años
 - Fecha de fin mas tardia: 1,6 dias/10 años
- Diferencias América del Norte / Eurasia
 - América del Norte, fecha de principio mas temprana de 11,5 días/10 años, fecha de fin mas tardía de 2,2 días/10 años
 - Eurasia, fecha de principio mas temprana de 2,7 días/10 años, date de fin plus tardive de 3,5 días/10 años.

Zeng, Heqing, Gensuo Jia, et Howard Epstein. 2011. « Recent Changes in Phenology over the Northern High Latitudes Detected from Multi-satellite Data ». *Environmental Research Letters* 6 (4) (janvier 1): 045508. doi:10.1088/1748-9326/6/4/045508.

- **1982–2011, promedio a escala mundial -1.4 ± 0.6 días/10 años**

Wang, Xuhui, Shilong Piao, Xiangtao Xu, Philippe Ciais, Natasha MacBean, Ranga B. Myneni, et Laurent Li. 2015. « Has the Advancing Onset of Spring Vegetation Green-up Slowed down or Changed Abruptly over the Last Three Decades? ». *Global Ecology and Biogeography* 24 (6): 621-31. doi:10.1111/geb.12289.

Efecto sobre el crecimiento

- Bosques boreales de Canada
 - Aumento del crecimiento a latitudes altas (temperaturas altas = condiciones de crecimiento mejoradas)
 - Pocas modificaciones a las latitudes bajas (dependiendo de los sitios y de los periodos, condiciones deterioradas (mas sequias) o mejoradas)

Huang, Jian-Guo, Yves Bergeron, Frank Berninger, Lihong Zhai, Jacques C. Tardif, et Bernhard Denneler. 2013. « Impact of Future Climate on Radial Growth of Four Major Boreal Tree Species in the Eastern Canadian Boreal Forest ». *Plos One* 8 (2) (février 28). doi:10.1371/journal.pone.0056758.

- Abies alba en Europa, clima templado: aumento del crecimiento, suroeste de Europa: disminución del crecimiento

Gazol, Antonio, J. Julio Camarero, Emilia Gutiérrez, Ionel Popa, Laia Andreu-Hayles, Renzo Motta, Paola Nola, et al. 2015. « Distinct Effects of Climate Warming on Populations of Silver Fir (Abies Alba) across Europe ». *Journal of Biogeography* 42 (6): 1150-62. doi:10.1111/jbi.12512.

Efecto sobre el crecimiento

- Bosques boreales de Canada
 - Aumento del crecimiento a latitudes altas (temperaturas altas = condiciones de crecimiento mejoradas)
 - Pocas modificaciones a las latitudes bajas (dependiendo de los sitios y de los periodos, condiciones deterioradas (mas sequias) o mejoradas)

Huang, Jian-Guo, Yves Bergeron, Frank Berninger, Lihong Zhai, Jacques C. Tardif, et Bernhard Denneler. 2013. « Impact of Future Climate on Radial Growth of Four Major Boreal Tree Species in the Eastern Canadian Boreal Forest ». *Plos One* 8 (2) (février 28). doi:10.1371/journal.pone.0056758.

- **Abies alba en Europa, clima templado: aumento del crecimiento, suroeste de Europa: disminución del crecimiento**

Gazol, Antonio, J. Julio Camarero, Emilia Gutiérrez, Ionel Popa, Laia Andreu-Hayles, Renzo Motta, Paola Nola, et al. 2015. « Distinct Effects of Climate Warming on Populations of Silver Fir (*Abies Alba*) across Europe ». *Journal of Biogeography* 42 (6): 1150-62. doi:10.1111/jbi.12512.

Efecto sobre el crecimiento

- Bosques mezclados de coniferales en las Cascadas montañosas, America del Norte: inviernos mas calidos -> aumento del crecimiento, pero mas incendios de mas alta intensidad

Bigelow, Seth W., Michael J. Papaik, Caroline Caum, et Malcolm P. North. 2014. « Faster Growth in Warmer Winters for Large Trees in a Mediterranean-Climate Ecosystem ». *Climatic Change* 123 (2): 215-24. doi:10.1007/s10584-014-1060-0.

- Bosques boreales de Finlandia: aumento significativo del crecimiento desde 1990 asociado al cambio climatico + cambios de silvicultura + N + C

Kauppi, Pekka E., Maximilian Posch, et Pentti Pirinen. 2014. « Large Impacts of Climatic Warming on Growth of Boreal Forests since 1960 ». *Plos One* 9 (11): e111340. doi:10.1371/journal.pone.0111340.

Efecto sobre el crecimiento

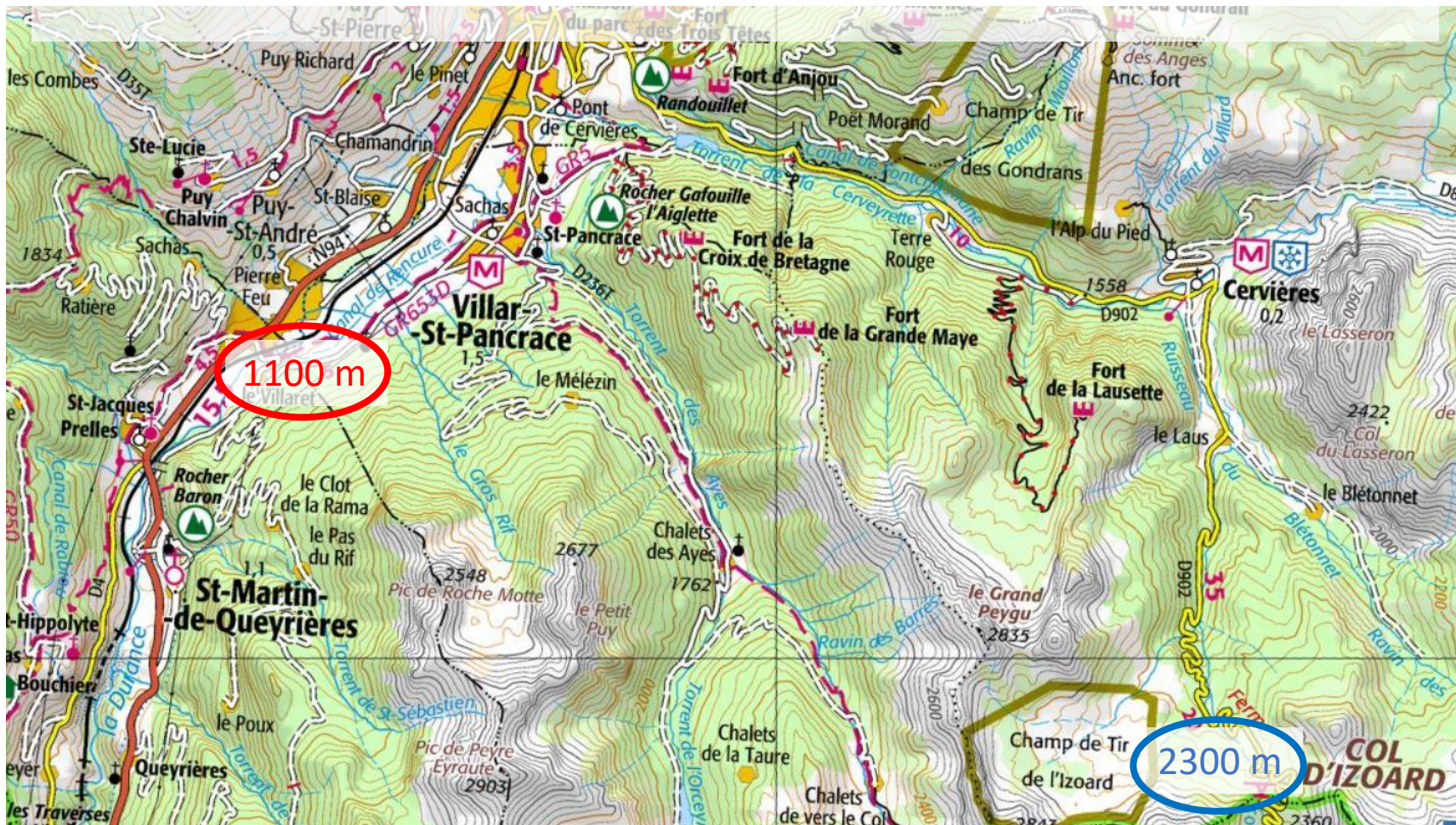
- Bosques mezclados de coniferales en las Cascadas montañosas, America del Norte: inviernos mas calidos -> aumento del crecimiento, pero mas incendios de mas alta intensidad

Bigelow, Seth W., Michael J. Papaik, Caroline Caum, et Malcolm P. North. 2014. « Faster Growth in Warmer Winters for Large Trees in a Mediterranean-Climate Ecosystem ». *Climatic Change* 123 (2): 215-24. doi:10.1007/s10584-014-1060-0.

- **Bosques boreales de Finlandia: aumento significativo del crecimiento desde 1990 asociado al cambio climatico + cambios de silvicultura + N + C**

Kauppi, Pekka E., Maximilian Posch, et Pentti Pirinen. 2014. « Large Impacts of Climatic Warming on Growth of Boreal Forests since 1960 ». *Plos One* 9 (11): e111340. doi:10.1371/journal.pone.0111340.

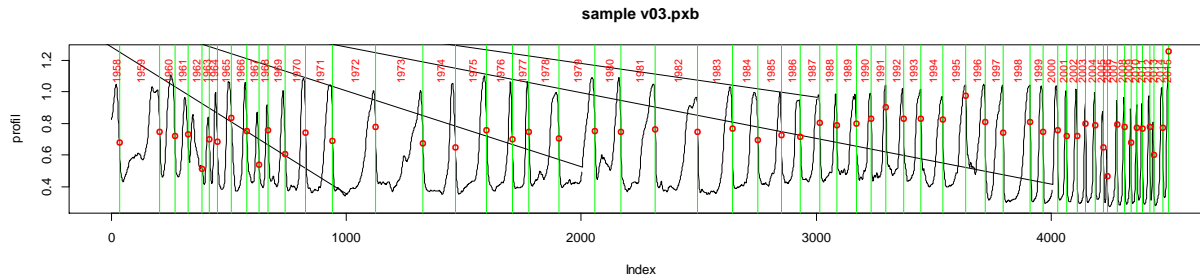
Efecto sobre el crecimiento: estudio retrospectivo basado sobre el estudio de los anillos de crecimiento



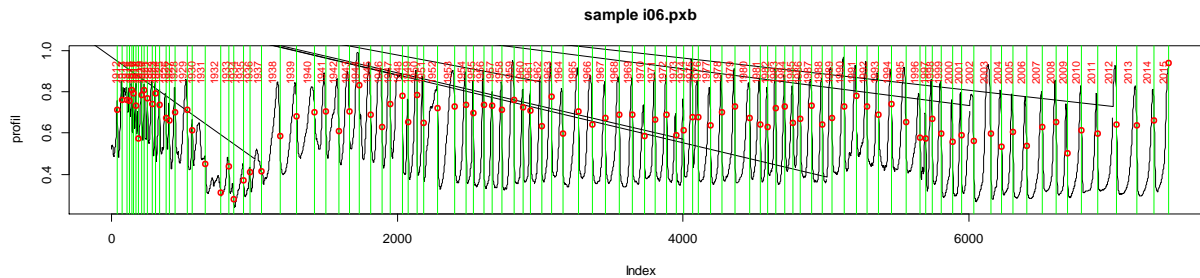
Dos sitios: **Le Villaret (1100 m)** y **Izoard (2300 m)**

Adaptación de los árboles forestales al cambio climático

Le Villaret (1100 m) y Izoard (2300 m); perfiles de microdensidad



Le Villaret arbol 3

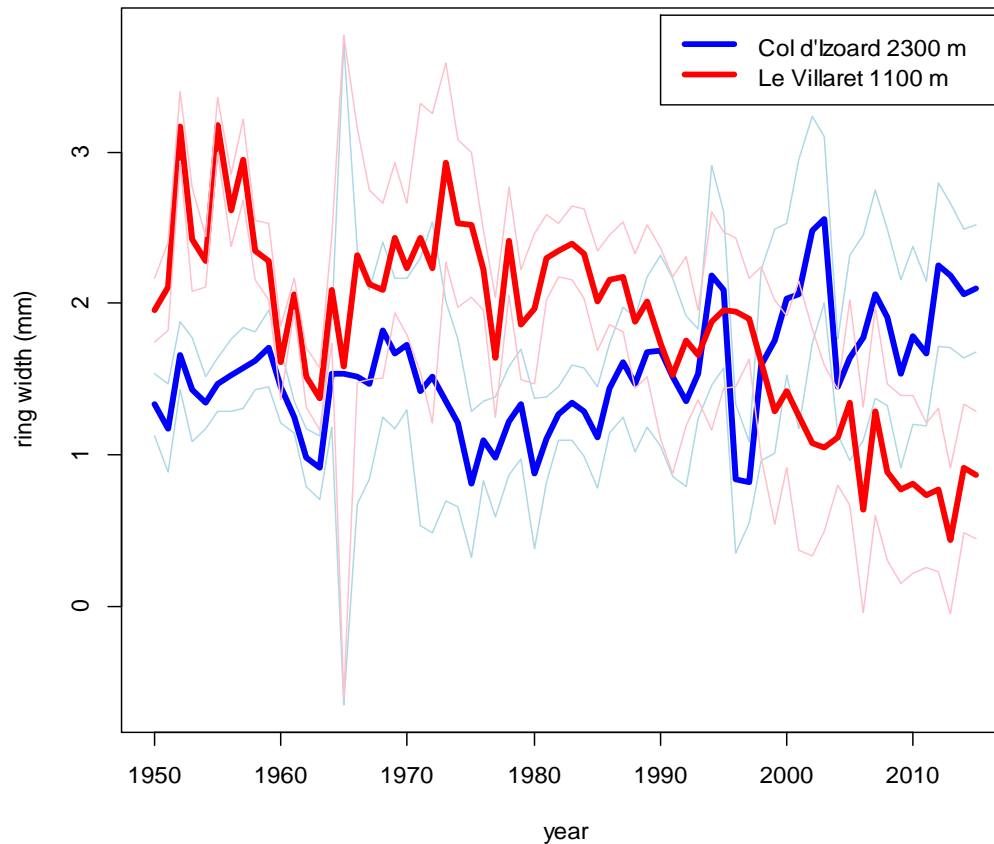


Izoard arbol 6



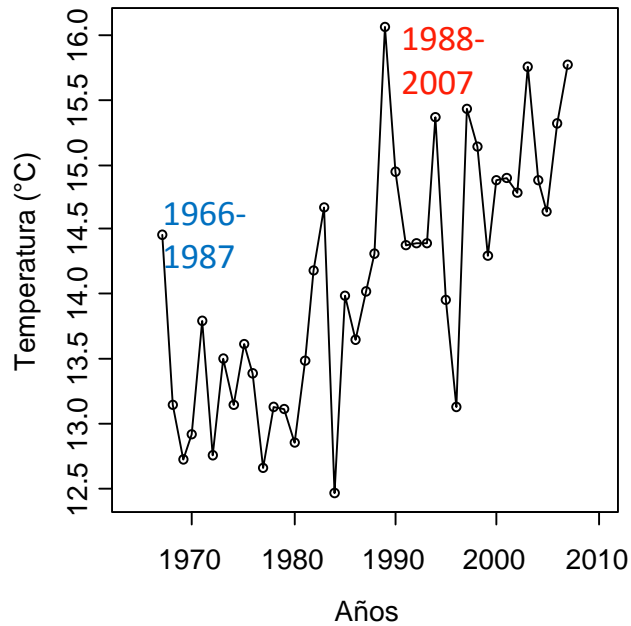
Adaptación de los arboles forestales al cambio
climático

Variación de la anchura de los anillos a los 1100 y 2300 m



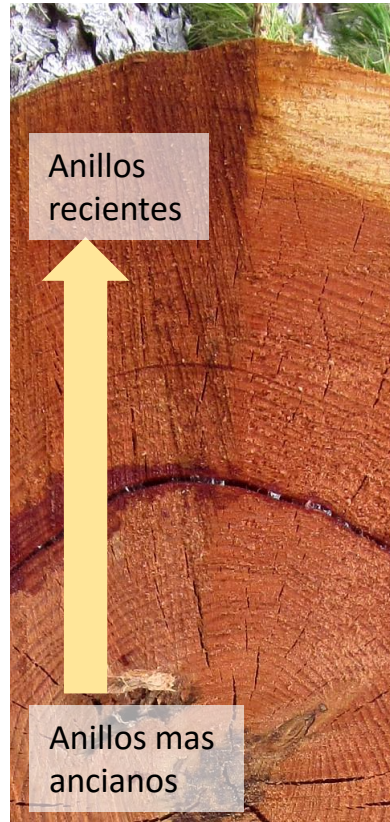
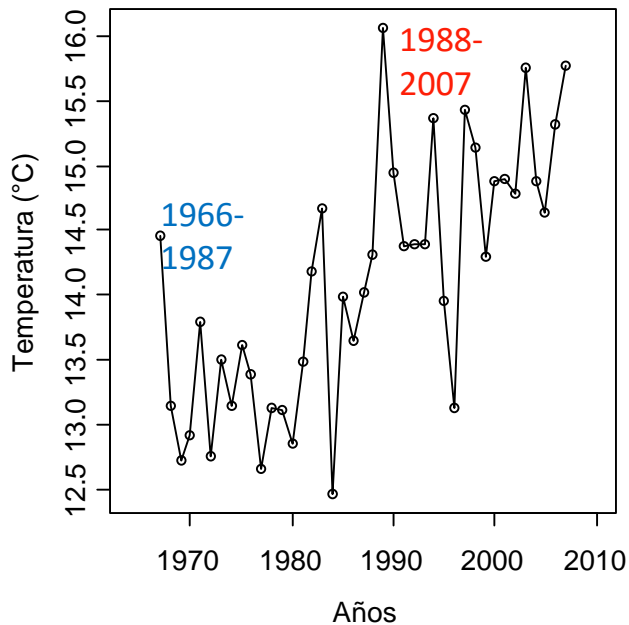
Modificaciones de la estructura de los anillos

**Promedio anual
Temperatura máxima**



Modificaciones de la estructura de los anillos

Promedio anual
Temperatura máxima

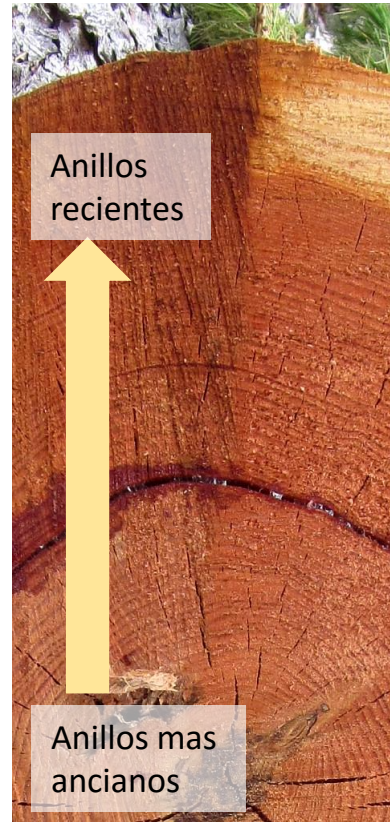
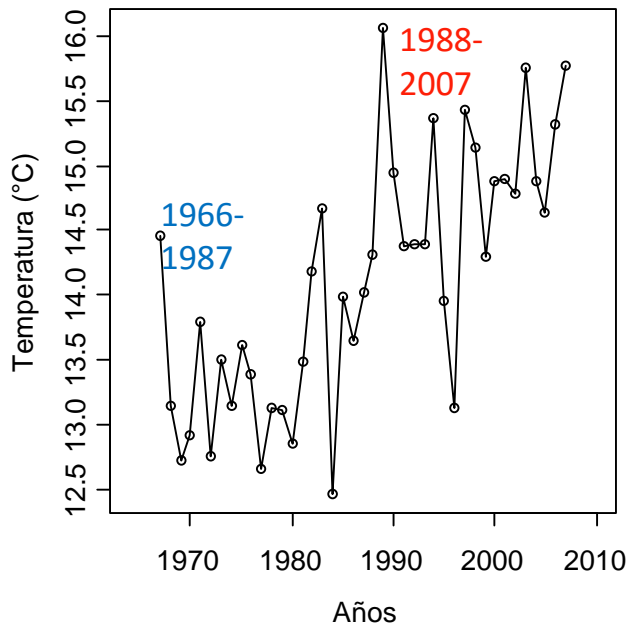


Anillos
1988-
2007
(caliente)

Anillos
1967-
1987
(frio)

Modificaciones de la estructura de los anillos

Promedio anual
Temperatura máxima



Anillos
1988-
2007
(caliente)

Anillos
1967-
1987
(frio)



Otros estrés, otros peligros?

- Duración de las estaciones de crecimiento y fenología?
 - Evitar los fríos tempranos
- Temperatura de los periodos de descanso vegetativo y *dormancia*?
 - Importancia de la cantidad de frio
- Perturbaciones de los ciclos vegetativos y de reproducción

Adaptación asistida: aprovechar el potencial natural para acelerar y favorecer la adaptación

- Bosques plantados: producir y plantar variedades más adaptadas a la sequía?
 - Herramientas y métodos del mejoramiento genético



Adaptación asistida: predecir y aumentar el potencial de adaptación

- Bosques regenerados naturalmente:
 - Utilizar los caracteres adaptativos con alto determinismo genético para seleccionar arboles con *fitness* mas alto



...Pero

- Cambio climático: rápido
- Mas rápido que los procesos naturales de adaptación..
- Adaptación asistida
 - Suficientemente rápida?
 - Para cuales condiciones futuras?
Incertidumbres...
- Lo mas eficiente, lo mas seguro, lo mas barato:
limitar la intensidad del cambio climático...





Gracias para su atención



Gracias a A. Martinez-Meier, G. Dalla-Salda, F. Millier, L. Pâques, A.S. Sergent, M. Nardin, M. Ruiz-Diaz, J.P. Charpentier, S. Rosner, E. Merlo, M.E. Fernandez, J. Gyenge, T. Chauvin, L. Sanchez, V. Guérin, S. Marin, J.P. Rossi, V. Segura, C. Bastien, J.C. Bastien, J.C. Vilardi, M.E. Gauchat, N. Macchioni, J.C. Rodrigues, G. Chaix, M. Ivkovich, P. Label, C. Pichot, I. Scotti, L. Bouffier, C. Plomion, C. Damesin, A. Latreille, S. Wagner, S. Aitken, C. Rathgeber y otros...