

# RESILIENCIA Y RESISTENCIA FORESTAL EN TIEMPOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Mariana Weigandt<sup>1</sup>; Santiago Varela<sup>1</sup>; Juan Díez<sup>1</sup>; María Elena Fernández<sup>2</sup>; Javier Gyenge<sup>2</sup>

<sup>1</sup>INTA EEA Bariloche, IFAB (INTA-CONICET), Área Forestal

<sup>2</sup>INTA Agencia de Extensión Rural Tandil, CONICET

\*[weigandt.mariana@inta.gob.ar](mailto:weigandt.mariana@inta.gob.ar)

---

**Los bosques se encuentran expuestos en la actualidad a condiciones climáticas extremas. Esto vuelve incierta su supervivencia y resalta la importancia de tomar medidas hoy para garantizarla. Aunque no sabemos con exactitud cuándo se darán esas condiciones extremas, sabemos que sucederán indefectiblemente, y que hay sitios y características de los bosques que los hacen más vulnerables.**

---

## Introducción

Uno de los mayores desafíos ambientales que enfrenta la región Patagónica es el cambio climático. Considerando a los sistemas forestales en particular, la acción de distintos factores ambientales actuando durante períodos largos, o bien cortos pero de manera extrema, puede generar en los árboles condiciones de estrés, conduciéndolos a disminuciones marcadas en su crecimiento y aumentando su susceptibilidad ante agentes nocivos (ej. insectos u hongos), e incluso pudiendo generarles la muerte. Para la región patagónica, los modelos de cambio climático predicen una mayor ocurrencia de eventos extremos y un mayor déficit hídrico. Ante esta perspectiva, es importante entender que estos episodios extremos pueden implicar que se sobrepasen umbrales no reversibles. El caso más extremo a nivel individual es la muerte. Si un individuo sobrevive, la capacidad de retornar al estado previo al episodio de estrés, corresponde a lo que los ecólogos denominan "resiliencia", y que se define como la capacidad de un sistema o individuo de absorber perturbaciones, sin

alterar sus características de estructura y función, pudiendo regresar a su estado original una vez que la perturbación ha terminado. Relacionado con el concepto de resiliencia está el de resistencia, que es la capacidad de soportar alteraciones a lo largo del tiempo, tales como la disminución en el crecimiento por sequías o determinados niveles de herbivoría por insectos, por ejemplo. Para mantener la producción de bienes y servicios que el ser humano obtiene de los bosques, los ecosistemas forestales deben poder restablecerse tras episodios de perturbación y no sufrir degradaciones en el tiempo.

## Puntos de inflexión

Como se mencionó anteriormente, si la perturbación climática es aguda y prolongada, es posible que su efecto se torne irreversible. Existen umbrales de recuperación para las distintas especies y para los procesos que tienen lugar dentro de los ecosistemas. El punto en el cual el ecosistema pierde su capacidad de recuperación -o su resiliencia- se denomina **punto de inflexión o umbral ecológico**.

Si la perturbación es intensa, ésta da origen a una cascada de efectos que generan cambios marcados en el ecosistema forestal, los cuales determinan finalmente el paso del bosque a un nuevo estado. Muy a menudo, con el nuevo estado, la provisión de productos y servicios para el ser humano se ve disminuida. Si bien un adecuado manejo forestal sustentable es fundamental para el mantenimiento de la resiliencia, la respuesta al cambio climático requiere la realización de planes e intervenciones suplementarios para no llevar a su límite de tolerancia al bosque y sobrepasar sus umbrales. Si logramos un mejor entendimiento de los ecosistemas y sabemos predecir en qué nivel del aprovechamiento se tocan los umbrales de inflexión, la gestión de los bienes y servicios forestales podría contribuir a aumentar la adaptabilidad de los bosques al cambio climático.

### ¿Cómo podemos estimar la resiliencia y resistencia de un sistema?

La dendroecología es el uso de la información ambiental almacenada en los anillos de crecimiento de los árboles. La mayor parte de los árboles tiene un crecimiento discontinuo, creciendo sólo cuando las condiciones ambientales les son favorables, y una época de no crecimiento o latencia cuando no lo son (ej. invierno o estaciones secas). El crecimiento denominado "secundario" causa que el tronco de un árbol crezca formando capas distintivas que se añaden sobre las del año anterior, en forma de anillos concéntricos. Estos conservan información acerca de los factores ambientales que afectaron al árbol en el momento en que se produjeron los anillos. Para calcular tanto la resiliencia como la resistencia de una variable en particular en un lapso determinado, es necesario analizar las medidas antes y después de la perturbación de esa variable (ej. crecimiento). Así,

por ejemplo, en función de los datos de crecimiento de un determinado año, como puede serlo un año de sequía particular bajo investigación, junto con los correspondientes crecimientos pre y post disturbio pueden calcularse índices de resistencia y resiliencia (Ec.1 y Ec.2).

Resistencia =  $\frac{\text{Crecimiento año seco}}{\text{Crecimiento medio 5 años pre sequía}}$  (Ec.1)

Resiliencia =  $\frac{\text{Crecimiento año post sequía}}{\text{Crecimiento medio 5 años pre sequía}}$  (Ec. 2)

Un valor igual a uno indica que no hubo impacto sobre la resistencia o resiliencia por el evento de sequía. Valores por debajo de uno en la variable de resistencia indican que en el momento del evento de sequía el crecimiento sufrió una disminución respecto al crecimiento que tenía previamente el árbol (siendo menos resistente el árbol), mientras que valores mayores a uno indican un aumento del crecimiento en el evento de sequía respecto al que tenía previamente (mayor resistencia). En el caso de la resiliencia un valor menor a uno indica que el crecimiento del árbol disminuyó respecto del que tenía años previos (menor resiliencia) y un valor mayor a uno indicaría un aumento en el crecimiento luego del evento de sequía (mayor resiliencia).

A nivel regional, entre otras especies, hemos estudiado los anillos de crecimiento de *Pinus ponderosa* (*pino Ponderosa*) y *Pseudotsuga menziesii* (*pino Oregón*), las dos principales especies forestales cultivadas en el norte de la Patagonia, para conocer su resiliencia y resistencia ante sequías en condiciones contrastantes de disponibilidad de agua.

Considerando los antecedentes en estas especies ante eventos de sequía

extrema, se ha reportado la muerte de individuos adultos de Oregon durante la sequía del año 1998-1999, concordantes con lo ocurrido en plantaciones de esta especie en otros eventos de sequía en el hemisferio norte. Ambas especies poseen una resistencia natural ante condiciones de estrés hídrico, aunque existen diferencias entre ellas. Ponderosa posee mayor resistencia a las condiciones de estrés hídrico. Oregon muestra menores tasas de sobrevivencia que Ponderosa ante condiciones de estrés, siendo las heladas tardías y el estrés hídrico las principales fuentes de su mortalidad en Patagonia. Dadas las características de ambas especies, esperábamos encontrar, frente a eventos de sequía, una menor resistencia en individuos de Oregon, evidenciando una mayor variación en el crecimiento radial. En relación a la resiliencia y consiguiente recuperación del crecimiento luego de eventos de sequía, esperábamos que fueran menores cuanto mayores fueran la intensidad y la duración de los eventos de sequía. Dentro de cada especie, la alta disponibilidad de recursos favorecería el desarrollo del follaje y la capacidad de crecimiento, pero en años de sequía, esa misma estructura antes favorable, resultaría

ahora penalizante (tener muchas hojas en época de baja disponibilidad hídrica implicaría una excesiva transpiración). Por ello esperábamos que tanto la resistencia ante la sequía como la resiliencia luego de la misma, fueran menores y mayores, respectivamente, en sitios de alta disponibilidad en comparación con sitios de baja disponibilidad de recursos (Figura 1).

Mediante un enfoque dendroecológico en ambas especies trabajamos en sitios con alta y baja disponibilidad de agua, en términos relativos uno de otro. El sitio, con BAJA disponibilidad fue la estancia Yanov-Lazzarini, a 20 km de la localidad de San Carlos de Bariloche ( $41^{\circ} 13' 38'' S$ ;  $71^{\circ} 14' 39'' O$ ), con una precipitación media anual de 800 mm. El sitio con ALTA disponibilidad fue la estancia Quechuquina, a 30 km de San Martin de los Andes ( $40^{\circ} 9' 66'' S$ ;  $71^{\circ} 33' 41'' O$ ), con una precipitación media anual de 1390 mm. Cabe destacar que la edad de los árboles dentro de cada sitio era similar, pero no entre sitios, siendo de mayor edad y diámetro los individuos del segundo sitio.



Figura 1: Fotografías mostrando dos condiciones contrastantes de forestación con pino Oregon en Patagonia, A) baja densidad de plantación y B) alta densidad de plantación.

Extrajimos tarugos de los árboles con barreno forestal (Figura 2) y medimos posteriormente el ancho de los anillos. Luego estimamos los índices de resistencia y resiliencia ante eventos extremos de sequía determinados a partir de información climática (trabajamos con los eventos de sequía de los años 1998-1999 y 2007-2008). Así observamos, en los anillos correspondientes a esos dos años, una reducción en el crecimiento radial anual medio (CRAM, cm) en ambos sitios para

ambas especies (Figura 3), marcándose en mayor medida esta reducción en el sitio con alta disponibilidad (Quechuquina). La alta resistencia a la sequía en el sitio de baja disponibilidad apoya la hipótesis de una menor susceptibilidad en el mismo debido a una mejor aclimatación a condiciones medias estresantes. Sin embargo, pareciera que esta aclimatación no es suficiente para tolerar un segundo evento de sequía extrema próximo al anterior (Tabla 1).

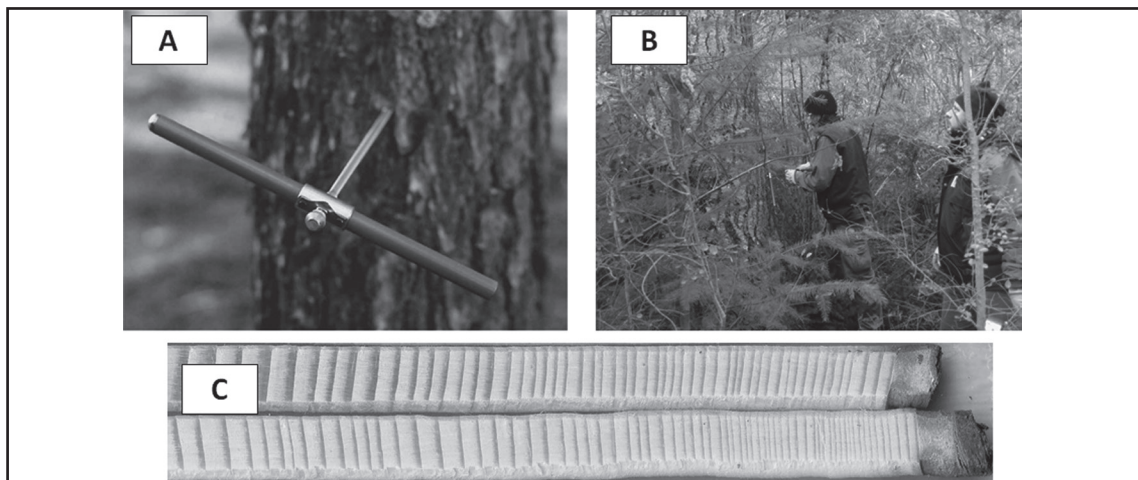


Figura 2: (A) Mediante el uso de un barreno de incremento forestal se realizan (B) las extracciones de (C) tarugos de madera para el posterior análisis de los anillos de crecimiento.

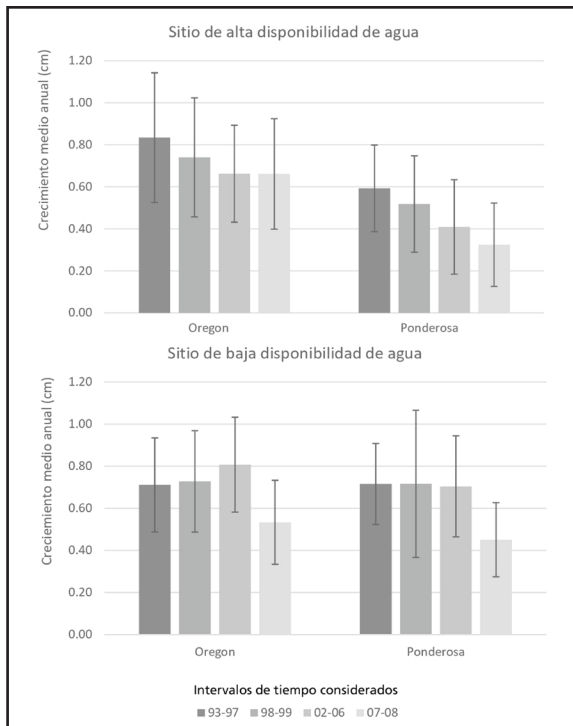


Figura 3: Representación gráfica de la resistencia para una variable de crecimiento. Variación del crecimiento radial anual medio (CRAM) de Pino Ponderosa y Oregon en relación a los eventos de sequía en los dos sitios evaluados. En el eje de las X se representan los años analizados, agrupados por rangos: rango 1993 a 1997 vs temporada 1998-99 (evento de sequía), rango 2002 a 2006 vs. temporada 2007 a 2008 (evento de sequía).

En ambos sitios la resistencia a la sequía fue levemente mayor en el Oregón, contrariamente a lo esperado (Tabla 1). Es posible que dicho resultado se deba a las características de los suelos de los sitios donde se instalaron los ejemplares

de Ponderosa, por ser considerada una especie más rústica. Asimismo, los valores de resiliencia fueron similares para ambas especies y menores en ambos sitios luego del segundo evento de sequía (Tabla 1).

Tabla 1: Valores medios (y desvío estándar entre paréntesis) de los índices de Resistencia y Resiliencia por especie y evento de sequía, en los dos sitios considerados (Alta y Baja disponibilidad de agua).

Especie	Año de sequía	Resistencia		Resiliencia	
		Alta disponibilidad	Baja disponibilidad	Alta disponibilidad	Baja Disponibilidad
Pino Oregón	98-99	0,91 ± 0,21	1,15 ± 0,69	1,06 ± 0,77	1,24 ± 0,27
	07-08	0,99 ± 0,28	0,64 ± 0,12	0,97 ± 0,17	0,75 ± 0,18
Pino Ponderosa	98-99	0,86 ± 0,24	0,98 ± 0,29	1,09 ± 0,21	1,15 ± 0,19
	07-08	0,77 ± 0,17	0,64 ± 0,14	0,89 ± 0,34	0,89 ± 0,14

### Consideración final

Este ejemplo nos muestra que las respuestas a los eventos extremos dependen también de las condiciones de sitio. Asimismo, estos resultados son disparadores de un análisis más exhaustivo de cada situación que incluye la incorporación de variables propias a las características de cada sitio (suelo y clima) y de densidad de plantación (manejo forestal). En este caso fue posible cuantificar la magnitud de la disminución de la productividad bajo condiciones de sequía y disponibilidad de agua que indican que a pesar de que la resiliencia

es similar en ambas especies, los eventos repetidos disminuyen esta capacidad. Lo mismo sucede con respecto a la resistencia en sitios de baja disponibilidad de agua, amenazando tanto la producción como la supervivencia de los árboles. Bajo el contexto de cambio climático en el que nos encontramos, este tipo de enfoque es necesario para tomar medidas de manejo actuales, tanto en sistemas productivos como naturales. Estas medidas permitirán una mejor respuesta de los sistemas forestales, facilitando un aumento en la resistencia ante los eventos de sequía, y garantizando no sólo un buen nivel productivo sino su sustentabilidad a largo plazo.

