



## Cambio climático, impacto ecosistémico transversal

Los ecosistemas forestales están siendo afectados por el cambio climático. Entiende su impacto a escala hídrica y de individuos, descubre las herramientas que nuestros equipos desarrollan para su mitigación

**El 03 de marzo de este año**, la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) entregó el resumen climático del verano 2024 – 2025 en nuestro país, considerando el periodo entre los meses de diciembre, enero y febrero. En el informe, destacó el registro de temperaturas máximas y mínimas récord para la temporada, marcando un antecedente de nuestro futuro climático.

La entidad había previsto este comportamiento desde inicios de la temporada estival pero los eventos superaron lo estimado, entregando episodios como el ocurrido el día 25 de diciembre de 2024, cuando la temperatura máxima registrada en las estaciones meteorológicas de Balmaceda y Pichoy, ubicados en las ciudades de Coyhaique y Valdivia, alcanzaron los 34,6 °C.

Este fenómeno de aumento constante en las temperaturas es una tendencia global registrada por la Organización Meteorológica Mundial (OMM en español). En su informe “Estado del clima en América Latina y el Caribe”, publicado este 2025, la institución declaró que **la temperatura media mundial en 2024 fue la más alta registrada en los últimos 170 años**, superando el récord antes impuesto por 2023.

Esto cerró una década en la que todos sus años fueron llamados “el más caluroso jamás registrado”. Ya en 2022, la Organización de Naciones Unidas (ONU) estimaba que la temperatura planetaria era **1,1°C** más alta que al inicio de la revolución industrial, y el Programa Copérnico, de la Unión Europea (UE), ha promediado un aumento de alrededor de **0,2 °C** cada década desde finales de los 70s.

Las consecuencias de este aumento no se están haciendo esperar, y entidades como la NASA las declaran irreversibles en la escala de tiempo de las personas que hoy están vivas; abarcando desde sequías, incendios forestales, deshielo de polos y disminución en la biodiversidad hasta el aumento en la mortalidad de poblaciones vulnerables, cambios en la distribución geográfica de zonas climáticas y reducción de la capacidad de ecosistemas de ofrecer servicios como aire y agua limpios.

Las acciones a corto plazo son claves para detener la progresión de este escenario, según señala el Panel Intergubernamental en Cambio Climático de la ONU (IPCC): ***“La magnitud y ritmo del cambio climático y sus riesgos asociados dependen fuertemente de la mitigación a corto plazo y las acciones de adaptación, y los impactos adversos proyectados, junto con las pérdidas y daños asociados, crecen con cada aumento del calentamiento global”.***

La investigación es clave para entender las consecuencias de este aumento de temperaturas en los ecosistemas forestales y su futuro, al permitir una mejor toma de decisiones y entregar herramientas para tanto monitorear como predecir sus efectos.

Al día de hoy, una de las consecuencias más significativas que está viendo nuestro país, junto a las temperaturas, es el déficit hídrico y sus afecciones subsecuentes, que abarcan en una gran escala la salud de los ecosistemas forestales, especialmente en las zonas centro y sur de nuestro país.





# 0,2°C

por década ha  
aumentado la  
temperatura de  
nuestro planeta desde  
1970

Fuente: Instituto Copérnico, Unión  
Europea

# 2024

fue el año con la  
temperatura media  
más alta en 170 años

Fuente: Organización Meteorológica  
Mundial

Te invitamos a conocer un poco más al respecto de la mano del trabajo de nuestros investigadores, y las formas en que buscan aportar a su mitigación.

## La cuestión hídrica e hidrológica

La ONU señala que el aumento en las temperaturas es el primero de los efectos identificables del cambio climático en nuestros ecosistemas, por lo que puede pensarse en este como el anuncio de otras consecuencias. Debido a su clara incidencia en procesos biológicos y climáticos, basta mirar un poco a nuestro alrededor para observar los eslabones que le siguen en esta cadena.

La intensificación de sequías y la escasez hídrica son parte de los efectos de más rápida aparición a partir del ascenso en temperaturas. Existen muchas formas de describir una sequía, pero para los fines de este reportaje utilizaremos la definición de la American Meteorological Society: *"Un periodo de clima seco anormal, lo suficientemente seco para causar un serio desbalance hidrológico"*, ya que nos permite vincular estos dos elementos de manera más explícita.

Suelos más secos y cursos de agua con menor caudal se desencadenan a partir de la sumatoria de clima y estrés hídrico, afectando la disponibilidad de agua en las cuencas y su salud ecológica.



Este fenómeno y sus consecuencias es recogido por la publicación [“Runoff variation and progressive aridity during drought in catchment in southern-central Chile”](#), de investigador colaborador CENAMAD Guillermo Barrientos (UCM) y el investigador principal Rafael Rubilar (UdeC).

El texto señala que los climas mediterráneos y templados, como los del centro y sur de nuestro país, son propensos a sequías debido a su tendencia a las precipitaciones regionales, las que han experimentado sequías extensas en las últimas cuatro décadas, mismo periodo antes señalado del aumento de temperatura a nivel global. Esto sumado a un déficit casi ininterrumpido de lluvias, ha llevado a un **descenso del 90% en el escurrimiento anual de los ríos de la zona.**

La escorrentía se refiere al flujo de agua que se mueve sobre o bajo el suelo y se desplaza por la red de drenaje hasta alcanzar el cauce principal de la cuenca. Es importantísimo para la salud de los ecosistemas y es el responsable de la mantención de arroyos, ríos y lagos, por lo que su descenso pone en jaque nuestra disponibilidad hídrica.

El estudio reveló que **este fenómeno supera con creces el margen de lo “normal” para climas como los nuestros**, e hizo patente su vinculación con el cambio climático al asociar su incidencia con el índice de aridez, un indicador que relaciona la precipitación con la cantidad máxima de agua que puede liberar una superficie a la atmósfera.

Junto a esto, el estudio explicó que la escorrentía de las cuencas **continuará decreciendo gradualmente a medida que aumente la temperatura y disminuya la precipitación**, haciendo primordial encontrar formas de mitigación o manejo sostenible de esta problemática.

Otro ejemplo de la forma en que el aumento de temperatura está afectando la disponibilidad hídrica es el **deshielo de glaciares y hielos eternos**, tanto a nivel de polos como otras reservas de agua dulce. El estudio [Spatio-Temporal Behavior of Land Surface Temperatures \(LSTs\) in Central Chile, Using Terra MODIS Images](#), del equipo UTALCA-CENAMAD liderado por el investigador principal Roberto Pizarro, capturó este fenómeno a través del uso de imágenes del satélite Terra MODIS de la NASA.

Este artículo analizó el comportamiento espacio temporal de la temperatura de la superficie terrestre (LST) de las regiones de Valparaíso y Metropolitana entre los años 2000 y 2017, periodo en el que observó un aumento en la temperatura en meses estivales, afectando particularmente la zona cordillerana en enero, así como a bosques y espacios urbanos en diciembre y febrero.

La importancia de este descubrimiento radica en que uno de los lugares más afectados por esta tendencia en la cordillera fueron los hielos eternos de alta montaña. **Un 7% de la zona abarcada por este trabajo registró un incremento de 0,38°C en su temperatura por año, al mismo tiempo que el 66% de este territorio mostró un aumento promedio de 0,29°C por año**, lo que define un aumento significativo desde el punto de vista estadístico.

Esto pone en jaque la disponibilidad hídrica del centro del país en la temporada estival, al impactar las reservas de agua sólida de la región en meses donde no podemos disponer de lluvias para compensar las posibles pérdidas y se cuenta mayoritariamente con los deshielos. Por ello, este hecho **puede afectar tanto a la vegetación en sus procesos biológicos como a la vida humana a nivel rural y urbano**.

Estos dos estudios muestran una tendencia que al alza y las potenciales amenazas que puede conllevar el cambio climático para la seguridad hídrica de Chile y sus posibles consecuencias.



# 66%

de la superficie de las regiones Metropolitana y de Valparaíso presentaron un aumento de temperatura anual de **0,29°C** entre los años 2000 y 2017.

Fuente: [Spatio-Temporal Behavior of Land Surface Temperatures \(LSTs\) in Central Chile, Using Terra MODIS Images](#)

Para gestionar de manera inteligente y sostenible este escenario, nuestros equipos de investigación han desarrollado múltiples acciones y herramientas que apuntan a la mitigación. Conoce algunas de estas.

## Consecuencias, resiliencia y herramientas

El desarrollo de conocimiento es una de las principales funciones de nuestro eje de Sustentabilidad y Productividad Forestal, área responsable identificar las formas en que podemos aportar a esa disyuntiva. Las respuestas generadas por nuestros equipos apuntan a diversos focos del problema, abarcando desde selección de rasgos para reproducción selectiva hasta la comprensión del rol ecosistémico que el bosque continuará teniendo en este contexto.

Un ejemplo de esto está en la publicación [“Resilience of Pinus pinea L. Trees to Drought in Central Chile Based on Tree Radial Growth Method”](#), texto de la investigadora principal INFOR-CENAMAD Verónica Loewe y el jefe de proyectos INFOR-CENAMAD Rodrigo Del Río que evaluó la respuesta de especies forestales a este escenario a partir de análisis dendrocronológicos y **tres índices de resiliencia: recuperación, resistencia y resiliencia.**

Este estudio buscó avanzar en el cierre de la brecha existente en cuanto a cómo la creciente ocurrencia de veranos más cálidos y secos afecta el crecimiento radial de troncos en especies forestales introducidas con fines productivos.





Para esto, el equipo utilizó al *Pinus pinea* L., más conocido como pino piñonero, y su interesante aplicación productiva como ejemplo para estudiar su respuesta en materia de crecimiento y resiliencia.

Entre los resultados que identificaron estuvo la vinculación directa entre crecimiento y disponibilidad hídrica, visible en los **bajos rangos de crecimiento que presentaron los árboles de zonas más secas en comparación de sus pares de locaciones más húmedas.**

Al mismo tiempo, también se identificó que la resiliencia y recuperación de los árboles ante una sequía se reducen en la medida que aumenta la aridez, y que, en periodos secos, estos compensan la reducción de crecimiento aumentando su asimilación de carbono; información que podría utilizarse a futuro para planear estrategias de carbono neutralidad a partir del bosque.

Otro trabajo que se enfocó en entender la respuesta del árbol fue [“Changes in leaf physiology for eucalyptus genotypes with increase in integral water stress and its consequence for inicial growth in central Chile”](#), proyecto liderado por nuestro investigador principal UdeC – CENAMAD Rafael Rubilar y el estudiante doctoral Daniel Bozo, que puso el foco en una de las especies forestales más utilizadas en el país, el eucalipto.

A partir del análisis de rasgos fisiológicos de diversos genotipos de eucalipto tales como el eucalipto común, eucalipto brillante e híbridos, el estudio demostró cómo **los cambios en el agua del suelo afectaban de manera diferente su respuesta fisiológica (fotosíntesis y conductividad de estomas) y su productividad.**



# 22%

más densas resultaron las maderas de eucaliptos de especies puras cultivados en locaciones secas, más ocurrente en el actual contexto

Fuente: "Wood Basic Density Assessment of Eucalyptus Genotypes Growing under Contrasting Water Availability Conditions".

Al mismo tiempo, el texto también dio una luz de esperanza en cuanto al potencial progreso de nuestro entendimiento en los riesgos de la sequía, pues identificó que los árboles invirtieron su energía en el área de hojas a partir de los cambios de disponibilidad hídrica.

Esto, porque el potencial de agua en hoja es un parámetro clave para conectar productividad y fisiología con el uso hídrico, abriendo las puertas a una nueva variable para evaluar el éxito en la selección de especies, genotipos y estrategias de manejo.

Debido a la masividad del cultivo de eucalipto, también fue elegido como objeto de estudio del trabajo ["Wood Basic Density Assessment of Eucalyptus Genotypes Growing under Contrasting Water Availability Conditions"](#), encabezado por los investigadores asociados UdeC CENAMAD Juan Pedro Elissetche y Rosa Alzamora, el que apuntó hacia la evaluación del potencial de crecimiento y calidad de la madera en condiciones de agua limitada.

La investigación reveló que **crecer en locaciones secas con características específicas puede llevar a maderas más densas en árboles de especies puras**, mientras que los híbridos no vieron marcada su densidad y sólo su rango de crecimiento se vio afectado por estos factores. En términos de cifras, **la densidad de la madera de árboles híbridos aumento en un 6,5%, casi 4 veces menor al 22% de aumento que se vio en especímenes puros.**

Los equipos CENAMAD han ido aún más allá en su búsqueda por aportar al desarrollo no sólo de conocimiento, sino también de herramientas que hagan posible la mitigación de este impacto.

Esto se ve representado en casos como el del [software hidrológico que incorpora el efecto del cambio climático sobre los recursos hídricos](#), proyecto adjudicado por Rubilar y Barrientos en 2023.

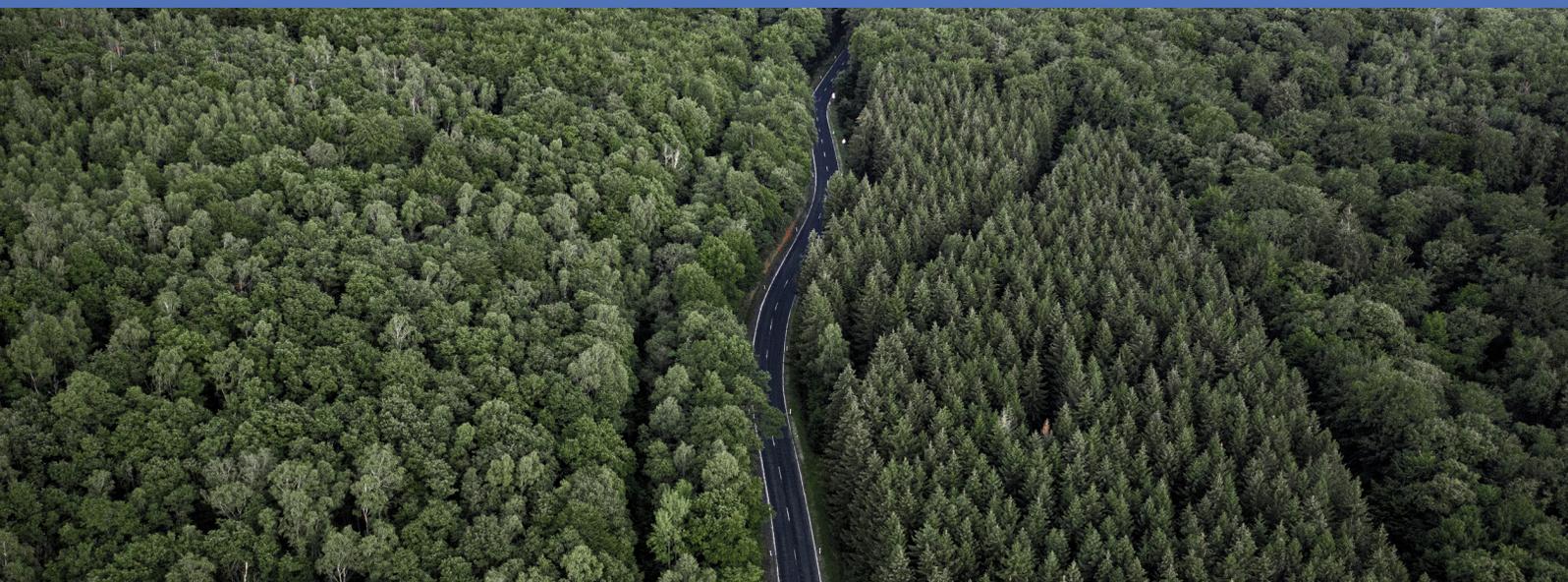
El proyecto apunta a dar solución a la ausencia de sistemas de apoyo para la planificación y toma de decisiones sobre la disponibilidad futura de agua en las cuencas, para lo cual el equipo de investigadores desarrolló un **software que permite la modelización hidrológica mediante el forzamiento meteorológico y de la demanda de agua**.

Su arquitectura modular, compuesta de seis módulos, ofrece flexibilidad para configurar el modelo, simular procesos hidrológicos, realizar análisis de sensibilidad, calibrarlo, imputar datos faltantes y visualizar los resultados, todo esto a partir de los datos de entrada distribuidos.

Otra herramienta desarrollada por investigadores de nuestro centro es el [software de diseño de zanjas de infiltración](#), proyecto desarrollado por el investigador principal Roberto Pizarro junto al equipo CENAMAD – UTALCA. Este consiste en el desarrollo de un programa de procesamiento de registros históricos de intensidades de precipitación, cuya finalidad es el diseño eficiente de obras de conservación de aguas y suelos.

A partir de esta premisa, se desarrolló un software de libre acceso en sistema Python que **permite ajustar funciones estadísticas y generar curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF)** aplicables al diseño de obras, con módulos específicos para el diseño de zanjas de infiltración, canales construidos sin desnivel en laderas con el fin de capturar el agua que escurre por las pendientes, reteniendo esta y posibilitando su infiltración en el suelo.





Este módulo permite el dimensionamiento óptimo bajo criterios hidrológicos y edáficos para cada sitio de aplicación. **Con esta herramienta se busca propiciar la recarga de acuíferos y, con ello, realizar una gestión más eficiente de los recursos hídricos disponibles.**

Así, el trabajo de contención de este fenómeno planetario es uno activo y variado en Chile y el mundo, abarcando múltiples aristas del problema. El cambio climático no es un evento futuro, sino algo que está ocurriendo, y el sector académico está usando sus mayores herramientas para mitigarlo: la investigación de excelencia, el desarrollo de conocimiento, y la creación de herramientas transferibles a la sociedad.

Conoce más sobre los diferentes trabajos y acciones que CENAMAD está desarrollando para mitigar los efectos del cambio climático recorriendo nuestro sitio web [www.cenamad.cl](http://www.cenamad.cl), o visita nuestras redes sociales. Encuéntranos en [LinkedIn](#), [Instagram](#), [Facebook](#) y [X](#).

Síguenos en Redes Sociales

