



LA VULNERABILIDAD DE LOS BOSQUES DE ROBLE-RAULÍ-COIHUE FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

**REGIONES DEL ÑUBLE A LOS LAGOS
BASE PARA LAS ACCIONES DE ADAPTACIÓN**

INSTITUTO FORESTAL 2025



LAS FOTOGRAFÍAS E IMÁGENES INCORPORADAS EN TAPAS O TEXTO DE LA PRESENTE PUBLICACIÓN PROVIENEN DEL ARCHIVO INSTITUCIONAL O FUERON OBTENIDAS DURANTE EL DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES DEL TRABAJO QUE ORIGINA ESTA PUBLICACIÓN.

INFORME TÉCNICO N° 280

LA VULNERABILIDAD DE LOS BOSQUES DE ROBLE-RAULÍ-COIHUE FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

REGIONES DEL ÑUBLE A LOS LAGOS BASE PARA LAS ACCIONES DE ADAPTACIÓN

INSTITUTO FORESTAL 2025

Bahamóndez Villarroel, Carlos; Büchner Asenjo, Carlos; Müller-Using Wenzke, Sabine;
Rojas Ponce, Yasna; Schlegel Heldt, Bastienne y Vergara Asenjo, Gerardo





Instituto Forestal

Sucre 2397, Ñuñoa, Santiago

Chile

Fono +56 2 2236 6715

www.infor.cl

ISBN N° 978-956-318-304-7

Registro Propiedad Intelectual N° 2026-A-240

Se autoriza la reproducción parcial de esta publicación siempre y cuando se efectúe la cita correspondiente:

Bahamóndez Villarroel, Carlos; Büchner Asenjo, Carlos; Müller-Using Wenzke, Sabine; Rojas Ponce, Yasna; Schlegel Heldt, Bastienne y Vergara Asenjo, Gerardo,

2025. La Vulnerabilidad De Los Bosques De Roble-Raulí-Coihue Frente Al Cambio Climático Regiones Del Ñuble a Los Lagos Base Para Las Acciones De Adaptación. Informe Técnico N° 280 pp. 20.

<https://>

doi.org/10.52904/20.500.12220/33158

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	06
2. CONCEPTO DE VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO	07
2.1. Datos	08
2.2. Aproximación Metodológica	09
2.3. Cómo Se Estima La Vulnerabilidad	10
3. IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA VULNERABILIDAD	12
4. VULNERABILIDAD Y ADAPTACIÓN	15
Restauración y recuperación de bosques	16
Manejo forestal adaptativo	16
Soluciones basadas en la naturaleza (SbN)	16
Acciones de financiamiento	16
Gobernanza y participación	16
Protección de ecosistemas	17
5. CONCLUSIONES	18
5.1 Rentabilidad Económica como Factor Clave de Resiliencia	18
5.2 Estructura del Bosque, Composición de Especies y Degradación	18
5.3 Implicaciones para Políticas Públicas	19
6. REFERENCIAS	20

01 INTRODUCCIÓN

Este documento presenta un análisis de la evaluación de la vulnerabilidad al Cambio Climático para los bosques de Roble Raulí Coihue comprendidos en las regiones de Ñuble, Bio Bio, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos. Se describe con detalle el enfoque metodológico aplicado a la evaluación de la vulnerabilidad para estos bosques y se describen los efectos del Cambio Climático en la productividad de los bosques a nivel de su crecimiento, productos y aspectos socioeconómicos asociados al propietario. Es el propósito de este documento aportar con antecedentes para la definición de cursos de acción de adaptación de los bosques y propietarios al cambio climático en consideración al enfoque estratégico del país en lo que dice relación con la adaptación.



02

CONCEPTO DE VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático es uno de los mayores desafíos globales del siglo XXI, afectando ecosistemas, economías y sociedades en diversas escalas. El concepto de vulnerabilidad adquiere un papel central, ya que permite comprender los factores que determinan la susceptibilidad de diferentes sistemas ante los impactos climáticos. La vulnerabilidad al cambio climático se define generalmente como el grado en que un sistema es susceptible o incapaz de hacer frente a los efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad y los extremos climáticos (IPCC, 2014).

La vulnerabilidad se compone por tres elementos claves: exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa (Adger, 2006). En este contexto, la exposición se refiere al grado en que un sistema es sometido a impactos de origen climáticos, como por ejemplo el aumento del nivel del mar o cambios en los patrones de precipitación o temperatura. Respecto de la sensibilidad, esta indica la magnitud y cuán afectado resulta un sistema ante estos cambios, por último. La capacidad adaptativa se refiere a la habilidad de un sistema para ajustarse y reducir impactos negativos o aprovechar oportunidades ante eventos de cambio climático.

En relación con la adaptación al cambio climático el rol de la vulnerabilidad resulta crucial, ya que permite identificar los áreas y regiones más afectadas, habilitando así la implementación de estrategias de adaptación más eficaces. Las medidas de adaptación pueden clasificarse en medidas: técnicas, institucionales y sociales (Smit y Wandel, 2006). Las estrategias técnicas incluyen el desarrollo de infraestructuras resilientes y tecnologías adaptativas, mientras que las institucionales abarcan la elaboración de políticas y regulaciones que promuevan un buen manejo de riesgos. Las estrategias sociales por su parte se concentran en el fortalecimiento de comunidades y el acceso a información climática y sus escenarios futuros.

Un enfoque eficaz para la reducción de la vulnerabilidad requiere la combinación de la adaptación con estrategias de mitigación. Si bien la adaptación busca reducir los impactos inmediatos del cambio climático, la mitigación permite considerar los drivers o causas subyacentes al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (O'Brien *et al.*, 2006). Sin embargo, la capacidad de adaptación no es igual para cada miembro de la sociedad, ya que está influenciada por factores socioeconómicos, políticos y culturales, lo que resalta la importancia de enfoques que promuevan la inclusión y participación en la formulación de políticas.

Así, la vulnerabilidad es un concepto clave para entender los impactos del cambio climático y diseñar estrategias de adaptación efectivas. Su análisis permite priorizar acciones en los sectores y regiones más afectados, promoviendo una respuesta integrada al cambio climático. La combinación de adaptación y mitigación es esencial para construir sociedades más resilientes y sostenibles ante los desafíos climáticos futuros.

2.1. Datos

El cambio climático representa una amenaza significativa para los ecosistemas forestales, afectando su estructura, composición y dinámica. En Chile, los bosques de Roble-Raulí-Coihue, que se distribuyen principalmente en la región andina desde la Región del Maule hasta la de Los Lagos, son particularmente relevantes. Para evaluar esta vulnerabilidad es esencial recopilar y analizar una variedad de datos biofísicos, climáticos y de manejo forestal. La combinación de estos factores permitirá identificar áreas más sensibles al cambio climático y desarrollar estrategias de manejo adaptativo que garanticen la sostenibilidad de estos ecosistemas en el futuro.

- Datos biofísicos

El primer conjunto de datos fundamentales corresponde a la información biofísica de los bosques. Esta información, obtenida del Inventario Forestal Nacional de INFOR y del Catastro Nacional de Formaciones Vegetacionales de CONAF, incluye variables como:

- **Volumen maderero (m^3/ha):** Indica la cantidad de biomasa arbórea disponible.
- **Área basal (m^2/ha):** Relacionada con la densidad y el crecimiento de los árboles.
- **Densidad de árboles ($narb/ha$):** Proporciona información sobre la cantidad de individuos por hectárea.
- **Crecimiento anual ($m^3/ha/año$):** Mide la dinámica del bosque y su capacidad de regeneración.
- **Diámetro medio cuadrático (DMC) (cm):** Representa el tamaño promedio de los árboles y su potencial de aprovechamiento.

Estos datos permiten caracterizar el estado actual de los bosques y predecir su respuesta ante escenarios climáticos cambiantes.

- Datos de manejo forestal

El tipo de manejo forestal aplicado influye en la capacidad de los bosques para adaptarse al cambio climático. En este estudio, se consideran tres esquemas de manejo definidos por INFOR:

1. **Manejo coetáneo:** Enfocado en la producción de madera aserrada en renovales puros de *Nothofagus*.
2. **Manejo en dos estratos:** Dirigido a bosques mixtos con *Nothofagus* dominantes y un segundo estrato de especies tolerantes.
3. **Manejo para recuperación:** Aplicado en bosques degradados con baja calidad maderable.

La selección del esquema de manejo adecuado puede mitigar los efectos adversos del cambio climático y aumentar la resiliencia del ecosistema.

- Datos climáticos

Para evaluar la vulnerabilidad climática de estos bosques se utilizan datos de temperatura media anual, radiación solar y precipitación anual, tanto en el presente como en proyecciones futuras al 2050. Según las estimaciones del escenario de altas emisiones (SSP8.5 Escenario socioeconómico compartido basado en desarrollo con combustibles fósiles) se proyectan cambios significativos:

- **Incremento en la temperatura media anual:** Se esperan aumentos de aproximadamente 1,0 a 1,5 °C, lo que podría afectar el crecimiento y la regeneración de los bosques.
- **Disminución en la precipitación anual:** Con reducciones de hasta 16 mm en algunas comunas, lo que podría afectar la disponibilidad hídrica para los árboles.
- **Aumento en la radiación solar:** Cambios en la disponibilidad de energía solar podrían influir en la fotosíntesis y en la evaporación del agua del suelo.

- **Herramientas de proyección**

Con el objeto de evaluar la magnitud del efecto sobre la productividad de los bosques debida al cambio climático, se recurre al uso de un modelo eco fisiológico (Bahamondez et al., 2020) que permite cuantificar el efecto de las proyecciones de cambio climático en términos de crecimiento anual por hectárea.

2.2. Aproximación Metodológica

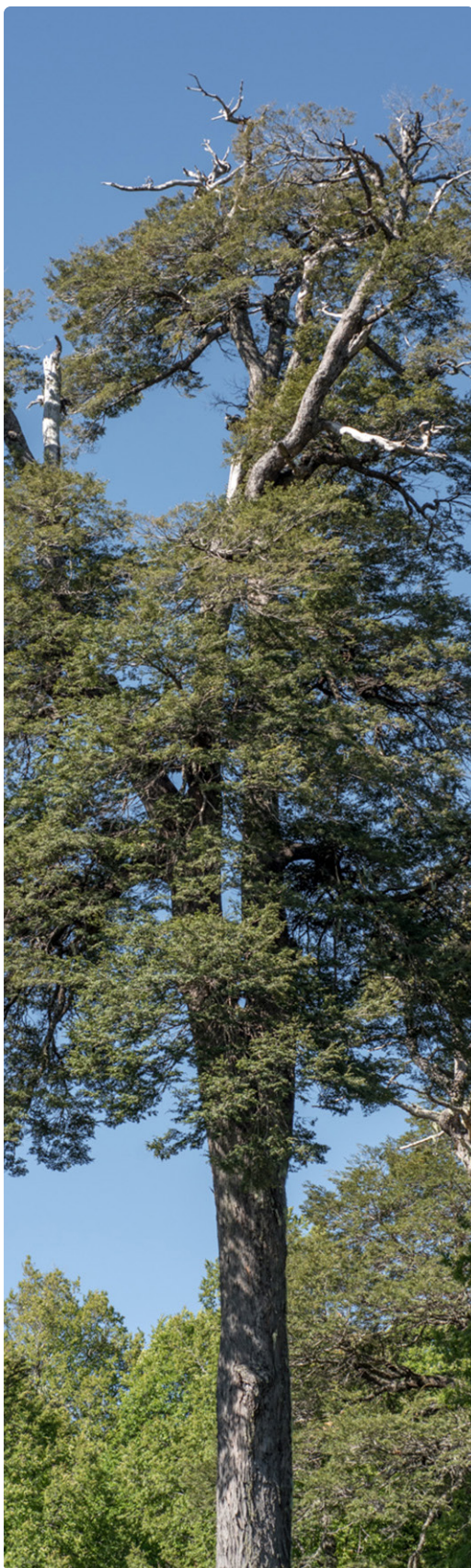
La evaluación de la vulnerabilidad de los sistemas al cambio climático ha sido objeto de diversas aproximaciones metodológicas, cada una de ellas con sus énfasis y supuestos. Entre los enfoques más utilizados se encuentran el enfoque biofísico, el socioeconómico y el integrado, los cuales buscan comprender y cuantificar el grado en que un sistema es susceptible o incapaz de afrontar los efectos adversos del cambio climático.

El enfoque biofísico centra su análisis en los impactos físicos tangibles del cambio climático sobre sistemas naturales o productivos, utilizando para ello datos climáticos proyectados y modelos de impacto sectoriales. El enfoque biofísico de la vulnerabilidad pone énfasis en la exposición y sensibilidad de los sistemas a cambios climáticos, evaluando los impactos a través de modelos sectoriales y proyecciones climáticas.

Este enfoque considera principalmente la exposición y la sensibilidad de los sistemas al cambio climático, dejando en segundo plano la capacidad adaptativa de las comunidades humanas. Por ejemplo, en la agricultura y silvicultura, se modelan cambios en el rendimiento de cultivos o formaciones boscosas en respuesta a variables como la temperatura y la precipitación, sin integrar necesariamente aspectos sociales o económicos que modulan dichos impactos.

En contraste, el enfoque socioeconómico se concentra en los aspectos sociales, institucionales y económicos que condicionan la capacidad de respuesta y adaptación de los sistemas humanos. La vulnerabilidad no es sólo resultado de las amenazas climáticas, sino que está también determinada por las estructuras sociales, económicas e institucionales que condicionan la capacidad de respuesta (Adger, 2006). Este enfoque emplea indicadores como el nivel de pobreza, el acceso a servicios, la infraestructura o la gobernanza local, subrayando que la vulnerabilidad es, en gran medida, una construcción social.

El enfoque integrado combina los componentes biofísicos y sociales de la vulnerabilidad en forma holística. Mediante el uso de modelos integrados, evaluaciones participativas y análisis multicriterio (Delgado et al., 2015 este enfoque permite capturar mejor la complejidad de la interacción entre sistemas humanos y naturales, y representa un esfuerzo por considerar varias escalas. El análisis integrado de la vulnerabilidad reconoce que los sistemas humanos y ambientales están interconectados y que su exposición, sensibilidad y capacidad de respuesta deben analizarse de forma conjunta (Turner et al., 2003).



En este contexto, destaca el trabajo de Luers *et al.* (2003) puesto que representa una contribución significativa al estudio de la vulnerabilidad al cambio climático. Su propuesta conceptual define la vulnerabilidad como una función matemáticamente explícita de los tres componentes principales de la vulnerabilidad: exposición, sensibilidad y capacidad de respuesta. A diferencia de enfoques que integran estas dimensiones en un índice compuesto, el marco de Luers propone una desagregación explícita de estas variables, lo que facilita su análisis independiente permitiendo identificar en mejor forma las acciones necesarias. Asimismo, esta aproximación destaca la importancia de la dinámica temporal dominada por la productividad junto a la variabilidad geográfica de la vulnerabilidad, permitiendo su operación mediante indicadores cuantificables. Este enfoque permite comparar vulnerabilidades entre distintos sistemas o regiones y ofrece una herramienta útil para la toma de decisiones en políticas de adaptación. En este sentido, su marco conceptual es compatible con los enfoques integrados, pero introduce una mayor claridad analítica y una mejor base para la medición empírica.

En comparación con los enfoques más agregados, la propuesta de Luers permite una mayor transparencia metodológica y facilita el diálogo entre investigadores, tomadores de decisiones y comunidades afectadas.

2.3. Cómo se estima la vulnerabilidad

En consideración a lo anteriormente expuesto, resulta valioso el entendimiento del concepto de vulnerabilidad por parte de los usuarios, lo cual conducirá necesariamente a una interpretación concreta de los elementos que la determinan y por ende entregarle cuáles son las acciones más apropiadas por ejecutar para reducir la vulnerabilidad. La vulnerabilidad de los bosques al cambio climático no solo está determinada por factores biofísicos, como el aumento de temperaturas o la alteración de los regímenes de precipitación, sino también por aspectos socioeconómicos que dan soporte a su resiliencia, entre los que destaca la rentabilidad de su manejo. Un bosque manejado de manera económicamente sostenible proporciona a sus propietarios los recursos necesarios para implementar medidas de adaptación, reducir riesgos y asegurar su conservación a largo plazo. Por el contrario, cuando un bosque opera al límite de la rentabilidad, cualquier perturbación climática o económica puede exacerbar su degradación, aumentando su vulnerabilidad. La Figura 1 refleja la relación existente entre las variables climáticas y el desarrollo de los bosques.

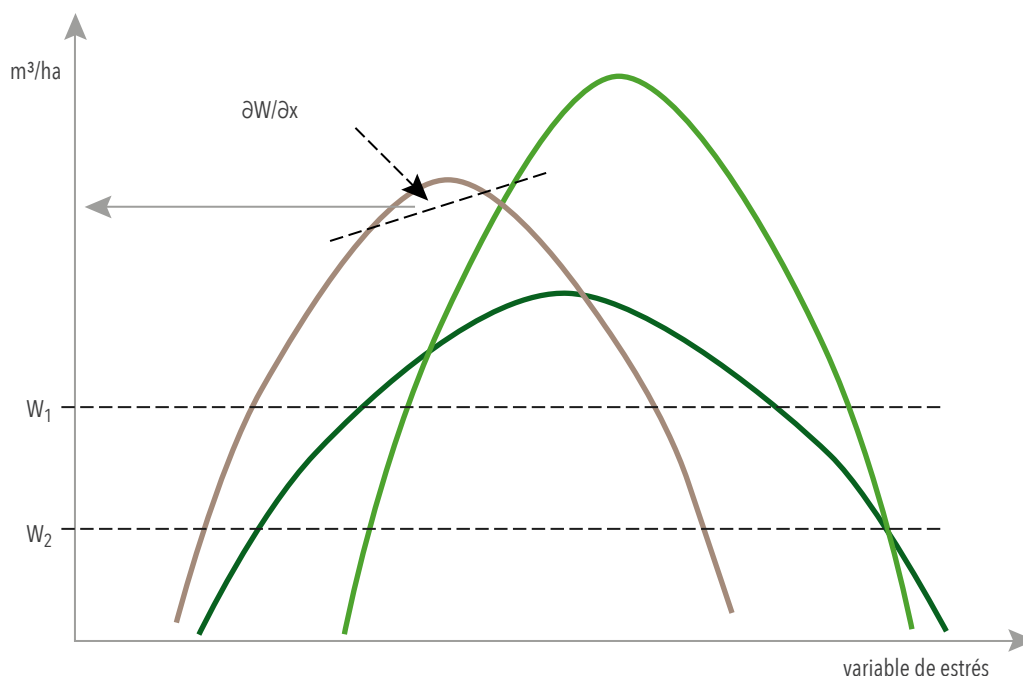


Figura 1. Curvas de productividad para 3 especies (ej) valores límites de rentabilidad (W_i) y sensibilidad ($\partial W/\partial x$)

Como se ha mencionado anteriormente, la curva parabólica representa el desarrollo productivo en biomasa del bosque frente a los cambios de variables climáticas representadas estas últimas como el eje de las X. Destaca aquí que el valor óptimo de producción del bosque se produce para un determinado valor de la variable climática X, donde el efecto del cambio climático produce un desplazamiento de este valor máximo hacia la izquierda o derecha por el eje de las X. Aquí, la tangente a dicha curva en un punto de la variable climática X representa la sensibilidad del bosque al cambio. En la figura, la rentabilidad mínima está representada por el nivel de producción W_i el cual depende del propietario y el estado de su recurso y la tasa de interés del mercado.

Un bosque será más sensible al cambio climático si la variación de su productividad en relación con los cambios en la variable climática (X) debidas al cambio climático es mayor o menor. Esta relación se expresa a través de la expresión [1].

$$\text{Sensibilidad} = \partial W/\partial x \quad [1]$$

Por su parte, el estado se define como la proporción de la productividad del bosque W respecto de su límite de rentabilidad W_0 .

$$\text{Estado} = W/W_0 \quad [2]$$

Así, la estimación de la vulnerabilidad queda determinada por la razón entre Sensibilidad y Estado.

$$\text{Vulnerabilidad} = |\text{sensibilidad/estado}|$$

En el contexto de lo anterior, la vulnerabilidad del bosque es el resultado del estado del bosque y de la forma de su curva de productividad. Un bosque bien manejado y productivo tendrá un valor de estado alto (>1.0) reduciendo la vulnerabilidad, si el estado es <1.0 la vulnerabilidad crecerá dada su actual condición de productividad.

03 IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA VULNERABILIDAD

El impacto del cambio climático en la vulnerabilidad, como se menciona en secciones anteriores, se sustenta fuertemente en cómo las variables climáticas afectan la productividad del bosque y cómo se comporta su rentabilidad. En la Figura 2 se describe los niveles de la vulnerabilidad normalizada por comunas de las regiones del Ñuble, Bio Bio, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos.

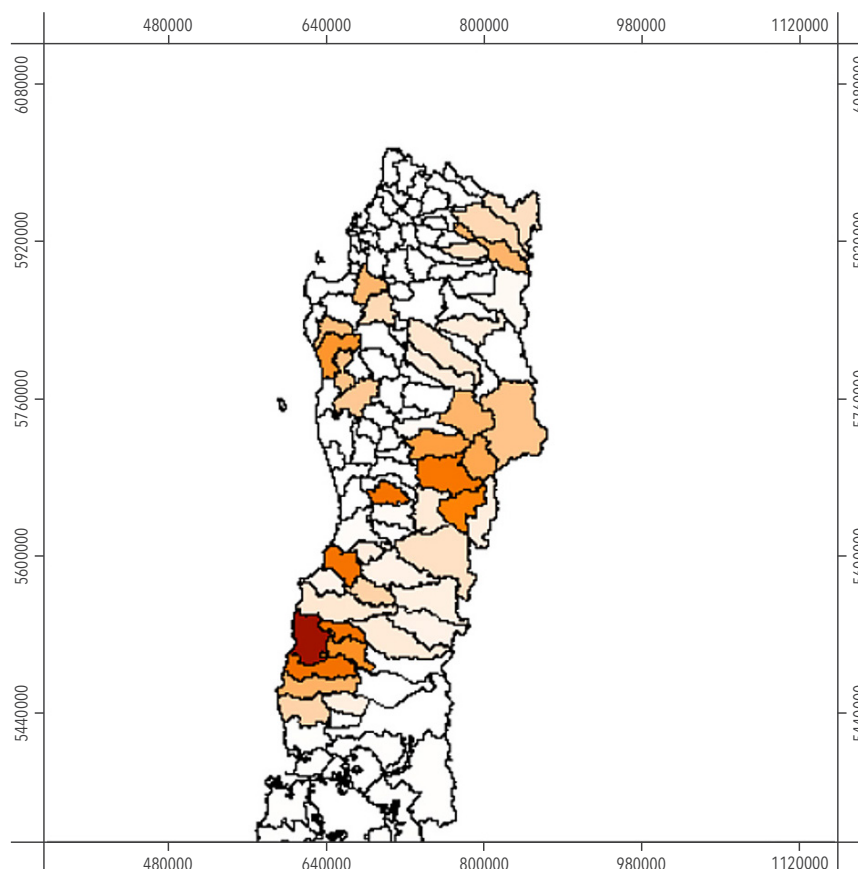


Figura 2. Vulnerabilidad por comunas para las regiones del Ñuble, Bio Bio, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos (valores más oscuros indican más vulnerabilidad).

La vulnerabilidad denotada en la Figura 2, se muestra en forma discreta y no como una superficie suavizada como sería esperable para el caso de las variables climáticas que se comportan como una superficie continua a lo largo del territorio. Este efecto se explica en que los bosques representativos por cada comuna son el resultado de los datos descritos por las parcelas de muestreo del IFN los cuales reflejan distintos tipos manejo e intervenciones ya sean estas exitosas o fallidas, generando un nivel de productividad distinto según el objetivo del propietario. También estos valores se ven afectados por la cantidad de muestras que posee cada comuna, cantidad que puede variar significativamente ya que en el contexto comunal no están balanceadas.

Los sectores más vulnerables en el área de estudio comprenden 24 comunas, acumulando un total de 617.102 ha de bosques de Roble-Raulí-Coihue.

Estas corresponden para la región del Ñuble, a las comunas de Coihueco, el Carmen, Pinto, San Fabian y Yungay. En la región del Bio Bio las comunas de Quilleco, Santa Juana, Cañete, Contulmo y los Álamos.

En la región de la Araucanía, las comunas de Cunco, Curacautín, Gorbea, Lonquimay, Lumaco, Melipeuco, Pucón y Vilcún.

La región de Los Ríos comprende las comunas Futrono, Lanco y Panguipulli.

Por último, en la región de Los Lagos, las comunas más vulnerables incluyen Fresia, Osorno, Purranque, Rio Negro, San Pablo y San Juan de la Costa.

En el Cuadro 1 se detalla la superficie de bosques de Roble-Raulí-Coihue que se ubican por cada región.

CUADRO 1.
Superficies regionales de comunas más vulnerables.

REGIÓN	SUPERFICIE (ha)
Ñuble	134.684
Biobío	75.184
La Araucanía	231.728
Los Ríos	99.397
Los Lagos	76.108
Total	617.101

De acuerdo con el Cuadro 1, las regiones de La Araucanía y Ñuble contienen más superficie vulnerable y deberían constituirse en prioridad para la aplicación de acción adaptativa en el horizonte definido al 2050. Es importante considerar que el propósito de una acción adaptativa es el de sostener o mejorar aquellos elementos que determinan la vulnerabilidad, de tal forma de reducirla.

CUADRO 2.

Impacto en productividad del Cambio Climático por región.

REGIÓN	GANANCIAS (m³)	PÉRDIDAS (m³)	NETO (m³)
Ñuble		11.958	-11.958w
Biobío	36.209	6.512	29.697
La Araucanía	23.158	4.983	18.175
Los Ríos	28.737	103.919	-75.182
Los Lagos	43.548		43.548
Total	131.652	127.372	4.280

Según se aprecia en el Cuadro 2 el efecto neto del cambio climático en la productividad del tipo forestal Roble-Raulí-Coihue es ligeramente neutro, indicando que el efecto negativo en algunas regiones más al norte es compensado por los efectos positivos de otras más al Sur, con tendencia a ser positiva en latitudes más altas, es decir, efectos positivos aumentan hacia las regiones al Sur.



04 VULNERABILIDAD Y ADAPTACIÓN

El propósito de evaluar la vulnerabilidad no es solo el contar con una métrica descriptiva sino contar con un dato que permita identificar posibles cursos de acción hacia la adaptación al cambio climático.

La vulnerabilidad, por cómo fue evaluada, considera una escala bien detallada, en este caso una escala predial/rodal, justamente porque a esa escala se facilita discriminar las características socioeconómicas y capacidades técnicas del propietario y también aquellas características propias del bosque en su estado y condición, las cuales son el resultado de la interacción del propietario y el bosque.

No obstante, para que la evaluación de la vulnerabilidad pueda ser útil en la identificación de acciones de adaptación, se hace necesario recurrir a escalas más agregadas, donde a priori se debería considerar al menos una escala territorial más amplia i.e., por unidad administrativa o tipo forestal, que considere una dimensión no solo del recurso sino de normativa legal y características del entorno de desarrollo productivo.

En el Cuadro 3 se describe esta aproximación.

CUADRO 3.

Antecedentes necesarios para identificar cursos de acción en adaptación al cambio climático.

ESCALA	INFORMACIÓN	FOCO DE LA ACCIÓN
Rodal o predio	• Socioeconómica del propietario. • De capacidad técnica del propietario. • Del estado y condición de los bosques incluidos en el predio. • Identificación de la unidad administrativa/tipo forestal que se relaciona a los rodales.	Identificación de aquellos elementos claves que explican mayoritariamente la vulnerabilidad i.e. capital natural (estructura y composición, proyección de productos, calidad), capital social, capital financiero.
División administrativa/ tipo forestal	• Identificación de la unidad administrativa/tipo forestal que se relaciona a los rodales	Comunas/provincias/región o tipo forestal e identificación de normativas vigentes e instrumentos públicos.

Lo expuesto debe necesariamente relacionarse en una forma consistente con una estrategia de adaptación que permita identificar acciones de adaptación más específicas y anidarlas con los objetivos de manejo del propietario. En Chile la estrategia de adaptación al cambio climático, propuesta en el Plan de Adaptación al Cambio Climático Silvoagropecuario (Ministerio de Agricultura ODEPA, 2024), en lo relativo a los bosques se enfoca en aumentar la resiliencia de los sistemas productivos (Medida #5, pág. 57, Ministerio de Agricultura ODEPA, 2024) mediante la restauración y conservación de los ecosistemas de soporte, i.e. los ecosistemas forestales y sus efectos frente a los impactos del cambio climático.

Lo anterior implica la reducción de la vulnerabilidad de comunidades y ecosistemas forestales asociados. Destaca de la estrategia adoptada por Chile el foco en la resiliencia de los sistemas productivos y por ende de los ecosistemas forestales.

Esta estrategia desde la perspectiva de los bosques se puede resumir bajo los siguientes conceptos de restauración, manejo forestal adaptativo, soluciones basadas en la naturaleza, financiamiento, gobernanza, protección de ecosistemas y resguardos, asociados a las acciones de implementación definidas en el plan nacional de adaptación.

Restauración y recuperación de bosques

Acción de Implementación #2. Incentivar el desarrollo de coberturas vegetales que consideren especies nativas y se ajusten a la realidad edafoclimática de cada región.

Acción de implementación #3. Iniciar procesos de restauración de ecosistemas con especies nativas contribuyendo a la protección y conservación de los recursos hídricos y la disminución del riesgo de incendios

Manejo forestal adaptativo

Acción de Implementación #4. Manejo de manera sustentable de ecosistemas boscosos y xerofíticos nativos que sostienen a los sistemas productivos silvoagropecuarios.

Acción de Implementación #1. Promover la conexión entre áreas boscosas fragmentadas mediante planificación y/o ejecución de acciones que favorezcan la conectividad.

Soluciones basadas en la naturaleza (SbN)

Acción de Implementación #4. Manejo de manera sustentable de ecosistemas boscosos y xerofíticos nativos que sostienen a los sistemas productivos silvoagropecuarios

Acciones de financiamiento

Acción de Implementación #5. Diseñar un Programa Nacional de Incentivo a la Recuperación de Ecosistemas Importantes que articule instrumentos vigentes y nuevas propuestas contemplando acciones de monitoreo, investigación, transferencia tecnológica, capacitación, entre otros.

Gobernanza y participación

Acción de Implementación #5. Diseñar un Programa Nacional de Incentivo a la Recuperación de Ecosistemas Importantes que articule instrumentos vigentes y nuevas propuestas contemplando acciones de monitoreo, investigación, transferencia tecnológica, capacitación, entre otros.

Protección de ecosistemas

Acción de Implementación #1. Promover la conexión entre áreas boscosas fragmentadas mediante planificación y/o ejecución de acciones que favorezcan la conectividad

Resguardos

Acción de Implementación #5. Diseñar un Programa Nacional de Incentivo a la Recuperación de Ecosistemas Importantes que articule instrumentos vigentes y nuevas propuestas contemplando acciones de monitoreo, investigación, transferencia tecnológica, capacitación, entre otros

Así, es recomendable que cualquier acción en adaptación debe en lo posible supeditarse a los elementos de los antes mencionados, de acuerdo con el diagrama de la Figura 3.



Figura 3. Elementos claves a considerar para mantener/mejorar la resiliencia de los sistemas productivos del sector silvoagropecuario.

De acuerdo con lo indicado en la Figura 3, cualquier acción de adaptación de los sistemas productivos del sector silvoagropecuario debe involucrar los bosques, bajo la mirada de aumentar la resiliencia de los ecosistemas forestales.

05 CONCLUSIONES

5.1 Rentabilidad Económica como Factor Clave de Resiliencia

La capacidad de un propietario forestal para enfrentar los impactos del cambio climático depende en gran medida de la salud financiera de su actividad. Un bosque que genera ingresos estables permite invertir en prácticas de manejo adaptativo, tales como:

- **Diversificación de especies:** Favorecer especies más resistentes a sequías, plagas o incendios reduce la sensibilidad del bosque a eventos climáticos extremos.
- **Mejoras en la gestión silvícola:** Prácticas como raleos, podas o regeneración asistida mejoran la estructura forestal, incrementando su resiliencia.
- **Acceso a seguros y financiamiento:** Propietarios con márgenes económicos sólidos pueden acceder a instrumentos financieros que mitigan riesgos, como seguros contra incendios o programas de pagos por servicios ambientales.

En cambio, un bosque con baja rentabilidad limita las opciones de adaptación. Por ejemplo, un propietario que depende de especies con baja productividad y que opera con márgenes estrechos verá reducida su capacidad de respuesta ante una crisis. La falta de recursos puede llevar al abandono del manejo activo, acelerando procesos de degradación como la invasión de especies no deseadas o la pérdida de productividad.

5.2 Estructura del Bosque, Composición de Especies y Degradación

La rentabilidad económica está intrínsecamente ligada a la condición estructural del bosque. Un bosque bien manejado, con una composición adecuada de especies y una estructura diversa, no solo es más resistente al cambio climático, sino que también ofrece múltiples fuentes de ingresos (madera, productos no maderables, turismo, etc.).

Bosques heterogéneos vs. homogéneos: Sistemas con diversidad de especies y estratos distribuyen mejor los riesgos climáticos. Por ejemplo, si una especie es afectada por una plaga, otras pueden mantener la productividad del ecosistema.



Degradación: Un bosque degradado tiene menor capacidad de recuperación ante perturbaciones. Su restauración requiere inversiones que solo son viables si el manejo forestal es rentable.

5.3 Implicaciones para Políticas Públicas

Para reducir la vulnerabilidad de los bosques, es esencial promover modelos de manejo que combinen sostenibilidad ecológica y viabilidad económica. Algunas estrategias clave incluyen:

- **Incentivos fiscales:** Subsidios o exenciones tributarias para propietarios que implementen prácticas de adaptación.
- **Certificación forestal:** Sistemas que premien la gestión sostenible y faciliten el acceso a mercados de productos con mayor valor agregado.
- **Investigación y extensión:** Programas que ayuden a los propietarios a identificar especies y técnicas de manejo adaptadas a futuros escenarios climáticos.

06

REFERENCIAS

Adger, W. N. (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3), 268–281. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006>

Bahamondez, C.; Rojas, Y.; Muller-Using, S. y Martin M. (2020). Modelo Dinámico de Vegetación MoDiVe, informe final Instituto Forestal. 21 p. Link de descarga del modelo: <https://ifn.infor.cl/>

Christopher W. Swanston, Maria K. Janowiak, Leslie A. Brandt, Patricia R. Butler, Stephen D. Handler, P. Danielle Shannon, Abigail Derby Lewis, Kimberly Hall, Robert T. Fahey, Lydia Scott, Angela Kerber, Jason W. Miesbauer, Lindsay Darling, Linda Parker, and Matt St. Pierre (2016) Forest Adaptation Resources: Climate Change Tools and Approaches for Land Managers, 2nd edition, 161 p. <http://dx.doi.org/10.2737/NRS-GTR-87-2>.

IPCC (2014). *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 on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-FrontMatterA_FINAL.pdf

Luers, A. L.; Lobell, D. B.; Sklar, L. S.; Addams, C. L. ; Matson, P. A. (2003). A method for quantifying vulnerability, applied to the agricultural system of the Yaqui Valley, Mexico. *Global Environmental Change*, 13(4), 255–267. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(03\)00054-2](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(03)00054-2)

O'Brien, K.; Sygna, L. & Haugen, J. E. (2006). Vulnerable or resilient? A multi-scale assessment of climate impacts and vulnerability in Norway. *Climatic Change*, 74(1), 39–56.

Delgado D., Finegan B. (2015) Impactos potenciales del cambio climático en ecosistemas forestales en cordilleras latinoamericanas y herramientas para la adaptación de la gestión. Informe final. <https://foris.fao.org/wfc2015/api/file/552bfc849e00c2f116f8e284/contents/8a35ccd0-5ab0-44e9-b8f7-a3f03ec16e31.pdf>

Ministerio de Agricultura ODEPA (2024). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático del Sector 121 p. Silvoagropecuario. https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/bitstream/handle/20.500.12650/73220/268%20-%20PACC%20SAP_VF.pdf

Smit, B. ; Wandel, J. (2006). Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3), 282–292.

Turner, B. L.; Kasperson, R. E.; Matson, P. A.; McCarthy, J. J.; Corell, R. W. et al. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(14), 8074–8079. <https://doi.org/10.1073/pnas.1231335100>



www.infor.cl