Informe Técnico N° 274

VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO DEL TIPO FORESTAL ROBLE-RAULÍ-COIHUE DE LAS REGIONES DE BIO BIO Y LA ARAUCANÍA

Ministerio de Agricultura
Gobierno de Chile

INSTITUTO FORESTAL
2024

INFOR

Las fotografías e imágenes incorporadas en tapas o texto de la presente publicación provienen de archivo institucional o fueron obtenidas o elaboradas durante el desarrollo de las actividades del trabajo que origina esta publicación.

Informe Técnico N° 274

VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO DEL TIPO FORESTAL ROBLE-RAULÍ-COIHUE DE LAS REGIONES DE BIO BIO Y LA ARAUCANÍA

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

INSTITUTO FORESTAL
2024

INSTITUTO FORESTAL
Sucre 2397, Ñuñoa, Santiago
Chile
F. 56 2 223667115
www.infor.cl
ISBN N° 978 956 318 286 -6
Registro Propiedad Intelectual N° 2025 A 234

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 (2024). Vulnerabilidad al Cambio Climático del Tipo Forestal Roble-Raulí-Coihue de las Regiones de Bio Bio y La Araucanía. Instituto Forestal, Chile. Informe Técnico N° 274. P. 20. https://doi.org/10.52904/20.500.12220/32755

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN 7
MATERIAL Y MÉTODO 7
Material 7
Área de Estudio 7
Antecedentes Recolectados y Procesados 8
Existencias 8
Esquemas de Manejo 9
Antecedentes Climáticos de la Región 10
Método 13
Identificación del Valor Umbral 15
Evaluación de la Rentabilidad Económica del Esquema de Manejo Seleccionado 16
RESULTADOS 17
CONCLUSIONES 19
REFERENCIAS 20

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1.Distribución del Tipo Forestal Roble-Raulí-Coihue en la región de Bio Bio y La araucania. 8
Figura 2. Distribución de los cambios en precipitación a 2050, valores más oscuros implican diferencias mayores 10
Figura 3. Distribución de los cambios producidos al 2050 para la temperatura media anual (°C), valores más oscuros implican diferencias mayores. 10
Figura 4. Distribución de los cambios producidos al 2050 para la radiación solar (W m-2), valores más oscuros implican diferencias mayores. 11
Figura 5. Determinación de la vulnerabilidad por definición de funciones de bienestar (productividad) por especies o grupos de especies (parábolas) y valores umbral (Wi con i=0,1) 13
Figura 6 Curva de bienestar para Roble-Raulí-Coihue de la región del Bio Bio y La Araucania 14
Figura 7. Vulnerabilidad por comuna ambas regiones 17

ÍNDICE DE TABLAS

Cuadro 1.Existencias biofísicas por comunas 8
Cuadro 2. Promedios de los cambios al 2050 en variables climáticas por comunas 11
Cuadro 3.Parametros biofísicos promedios de la región 13
Cuadro 4 Valores de variables climáticas para la elaboración de la curva de bienestar 14
Cuadro 5 Parámetros medios iniciales para evaluación 15
Cuadro 6 Tabla de productos finales para el periodo de proyección 15
Cuadro 7 Supuestos de precios asociados a los productos para la evaluación 16
Cuadro 8 Detalle de los costos asociados a la ejecución del esquema de manejo utilizado 16
Cuadro 9 Distribución de productos para un VPN=0 (m^3/ha) 16
Cuadro 10. Vulnerabilidades por comunas para las regiones del Bio Bio y la Araucania 17
Cuadro 11. Ganancias y pérdidas en crecimiento al 2050 región del Bio Bio 18
Cuadro 12. Ganancias y pérdidas en crecimiento al 2050 región de la Araucanía 19

INTRODUCCIÓN

El propósito de este trabajo es evaluar la vulnerabilidad al cambio climático de las formaciones forestales del Tipo Forestal Roble-Raulí-Coihue de las regiones de Bio Bio y La Araucanía. El trabajo se inicia con el proceso de colección de todos los antecedentes de datos e informaciones pertinentes que caractericen los escenarios futuros para estas regiones y permitan la identificación de esquemas silvícolas apropiados para facilitar la adaptación al cambio climático de los bosques de Roble-Raulí-Coihue en estas regiones.

El presente informe viene a complementar la serie de reportes de vulnerabilidad al cambio climático en los bosques de Roble-Raulí-Coihue de las regiones de Ñuble, Los ríos y Los Lagos generados por INFOR en años anteriores.

El análisis de la vulnerabilidad en este contexto se basa en los lineamientos metodológicos y conceptuales descritos por IPCC (2001) que definen la vulnerabilidad como "*el grado en que un sistema*[1] *es susceptible, o es incapaz de hacer frente a los efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y eventos extremos. La vulnerabilidad es una función del carácter, magnitud y tasa de variación del clima a que está expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación* ".

Esta entidad considera la vulnerabilidad en sus características de Exposición, que es la naturaleza y grado al cual el sistema es expuesto a la variación climática; la Sensibilidad, definida como el grado al cual un sistema resulta afectado, ya sea positiva o negativamente, por estímulos climáticos; y la Capacidad de adaptación, que es la habilidad del sistema a ajustarse al CC y responder a perturbaciones moderadas, ya sea por tomar ventaja de las oportunidades generadas o por superar las consecuencias negativas del CC.

MATERIAL Y MÉTODO

Material

Área de Estudio

Dentro de la distribución de los bosques del país, que comprende desde la Región de Coquimbo hasta la Región de Magallanes, el Tipo Forestal Roble-Raulí-Coihue presenta una distribución mayoritariamente por la parte andina entre las Regiones de Maule y Los Río y parte de la Región de Los Lagos.

El área de estudio para este reporte, corresponde a las formaciones boscosas de Roble-Raulí-Coihue de las Regiones de Bio Bio y La Araucanía, las que contabilizan 360.083,8 ha y 511.606,1 ha, respectivamente.

Los antecedentes de los bosques de estas regiones son tomados a partir de las bases de datos del Inventario Forestal Nacional de INFOR y los datos espaciales de la base de datos cartográfica del Catastro Nacional de la Formaciones Vegetacionales de Chile de la Corporación Nacional Forestal (CONAF).

En la Figura 1 se describe la distribución general en las regiones de Bio Bio y La Araucanía para el Tipo Forestal Roble-Raulí-Coihue, contabilizando un total de 871.689,9 ha.

[1] Sistema incluye sistemas naturales y las personas, en adelante sistema bosque

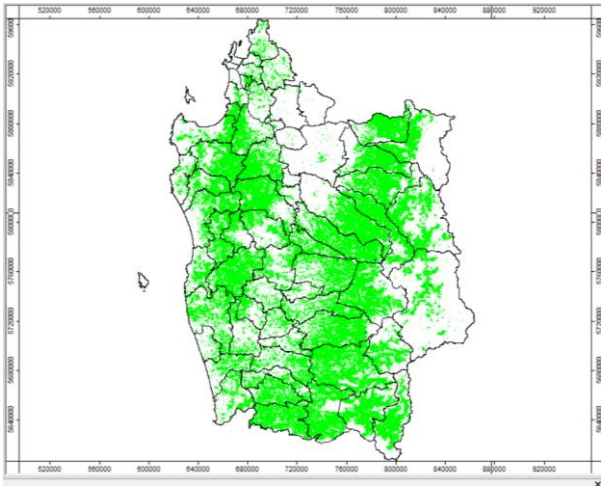


Figura 1.Distribución del Tipo Forestal Roble-Raulí-Coihue en las Regiones de Bio Bio y La Araucanía.

Antecedentes Recolectados y Procesados

Los siguientes antecedentes se han recolectado para la estimación de la vulnerabilidad.

- **Existencias**

Las existencias biofísicas de la Región del Bio Bio y La Araucanía para el Tipo Forestal Roble-Raulí-Coihue y su distribución en las comunas se describen en el Cuadro 1 en aquellas comunas que poseen datos de terreno.

Cuadro 1. Existencias biofísicas por comunas, provincias y regiones

Provincia/Comuna	Volumen (m^3/ha)	Area Basal (m^2/ha)	Densidad (arb/ha)	Crecimiento (m^3/ha/año)	Volumen Aserrable (m^3/ha)	Volumen Neto (m^3/ha)	Volumen Leña (m^3/ha)	DMC (cm)
Arauco	**168,3**	**23,7**	**718,6**	**14,0**	**1,2**	**167,8**	**n.d.**	**20,6**
Canete	152,1	20,5	581,6	12,0	0,0	151,7	n.d.	21,6
Contulmo	156,8	22,5	707,6	14,5	3,9	156,3	n.d.	19,9
Curanilahue	194,7	28,5	762,2	16,3	0,0	194,0	n.d.	21,8
Los Álamos	162,4	21,7	806,5	11,8	0,0	161,9	n.d.	18,7
Biobio	**282,7**	**31,7**	**731,6**	**10,6**	**18,8**	**282,3**	**n.d.**	**24,0**
Antuco	409,0	42,1	606,8	9,7	31,2	408,6	n.d.	31,6
Mulchen	197,9	25,4	713,6	10,6	12,0	197,5	n.d.	21,3
Nacimiento	147,5	20,2	869,4	13,0	0,0	146,9	n.d.	16,6
Quilaco	157,5	18,0	508,7	7,5	12,6	157,1	n.d.	21,0
Quilleco	168,2	20,0	693,6	9,8	6,1	167,9	n.d.	18,2
Santa Barbara	226,2	28,8	873,5	11,3	8,4	225,6	n.d.	21,2
Tucapel	631,1	64,8	1197,5	18,2	77,4	630,8	n.d.	26,2
Concepcion	**99,3**	**12,2**	**715,5**	**8,5**	**0,0**	**98,9**	**n.d.**	**14,7**
Santa Juana	99,3	12,2	715,5	8,5	0,0	98,9	**n.d.**	14,7
BIO BIO	**183,5**	**22,5**	**721,9**	**11,1**	**6,6**	**183,0**	**n.d.**	**19,8**

Cautin	**186,2**	**27,4**	**844,5**	**6,7**	**29,5**	**135,8**	**50,4**	**23,6**
Cunco	106,0	18,1	476,3	5,3	22,4	85,2	20,8	23,4
Curarrehue	193,4	29,9	614,6	7,0	0,0	119,3	74,0	22,4
Gorbea	153,5	20,0	777,3	5,3	50,1	125,5	28,0	15,6
Lautaro	319,6	45,4	1849,8	8,6	25,0	227,2	92,4	28,7
Loncoche	249,8	36,0	1356,2	9,0	110,4	227,4	22,4	18,7
Melipeuco	109,9	13,6	366,0	2,8	10,8	59,0	50,9	21,7
Pucon	131,4	26,2	860,8	6,4	25,3	96,2	35,3	31,0
Vilcun	217,5	27,1	610,5	6,4	4,1	133,6	83,9	25,2
Villarrica	217,7	33,1	1157,9	10,3	12,8	173,0	44,7	19,3
Malleco	**213,5**	**31,2**	**1006,8**	**6,7**	**35,9**	**154,5**	59,0	**25,2**
Collipulli	196,3	33,1	2240,2	11,4	12,9	156,4	39,9	13,8
Curacautin	213,0	31,2	1015,8	6,4	23,0	152,1	60,9	24,2
Ercilla	269,7	38,4	835,8	5,5	120,0	218,4	51,2	24,3
Lonquimay	258,3	34,0	356,8	6,0	5,0	150,5	107,8	36,7
Lumaco	61,7	9,7	437,5	4,4	0,0	39,4	22,2	31,0
ARAUCANÍA	**199,8**	**29,3**	**925,7**	**6,7**	**32,7**	**145,1**	**54,7**	**24,4**

- **Esquemas de Manejo**

Se consideran en este estudio como base, tres esquemas de manejo evaluados por INFOR para bosques de Roble-Raulí-Coihue (Rojas *et al.,* 2012) para definir la rentabilidad, lo que permite identificar el valor umbral[2] de vulnerabilidad para las regiones en estudio. De estos tres esquemas se selecciona uno (Manejo Coetáneo) en consideración al estado de los rodales y sus características biofísicas actuales determinadas por los datos de parcelas de terreno.

Esquema de Manejo Coetáneo

El manejo coetáneo se considera para los renovales puros de *Nothofagus*. El objetivo de producción es la madera aserrada, siendo el manejo relativamente sencillo dado que se tiene un solo estrato arbóreo, se apunta a un diámetro medio cuadrático superior a los 45 cm u otro a definir para el momento de la cosecha.

Esquema de Manejo en Dos Estratos

El manejo en dos estratos se considera para aquellas situaciones en que existe un estrato dominante de *Nothofagus* en estado de fustal delgado o medio y un segundo estrato de especies tolerantes, llenando el espacio fustal del primer estrato, orientado en la etapa de sucesión “bosque mixto con gran abundancia de *Nothofagus*”. El enfoque productivo en este caso está dirigido hacia una diversidad de productos; madera aserrada de alto valor de *Nothofagus* y madera aserrada de especies tolerantes. En este modelo se entrelazan 2 rotaciones; un dosel dominante de *Nothofagus* y otro intermedio de especies tolerantes.

Esquema de Manejo para Recuperación

El manejo silvícola de recuperación se propone para los casos en que la calidad del bosque es muy baja y no se puede cumplir con el objetivo de madera de valor. Los bosques que se encuentran degradados necesitan actividades silvícolas para su recuperación.

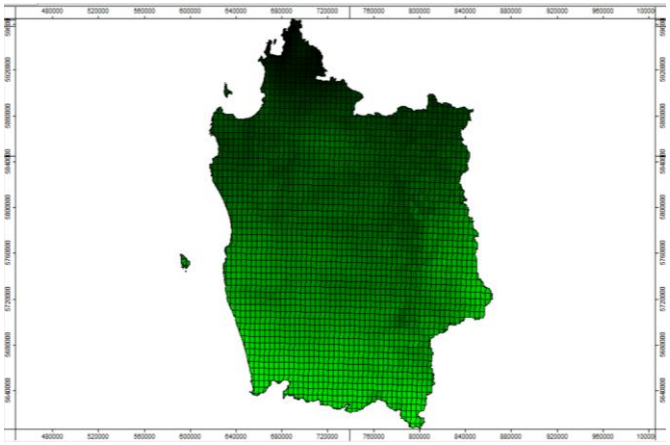
[2] Valor umbral de rentabilidad corresponde a aquél en que el Valor Presente Neto se iguala a cero.

- **Antecedentes Climáticos de la Región**

Adicionalmente a los datos de existencias antes descritos, se recopila información para las variables climáticas de temperatura media anual (°C) presente y futura, radiación solar presente y futura (W/m^2) y precipitación anual presente y futura (mm) según estimaciones de la Universidad de Chile (2007).

Precipitación Acumulada

En la Figura 2 se describe geográficamente la distribución de los cambios de las precipitaciones a lo largo y ancho de las regiones del Bio Bio y la Araucanía al 2050.

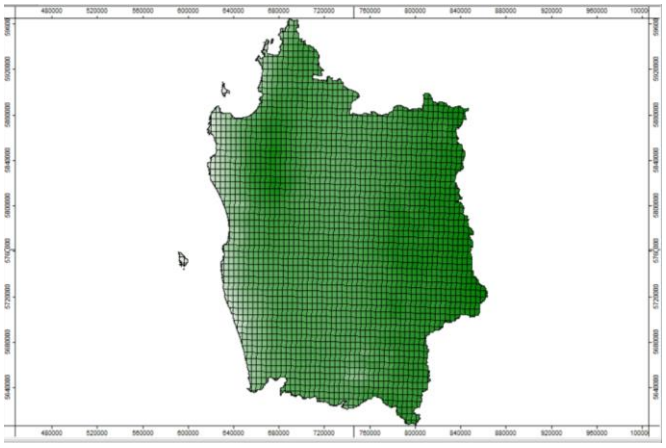


Valores más oscuros implican diferencias mayores

Figura 2. Distribución de los cambios en precipitación a 2050 (mm)

Temperatura Media Anual

En la Figura 3 se describe geográficamente la distribución de los cambios en temperatura media anual a lo largo y ancho de la región al 2050.

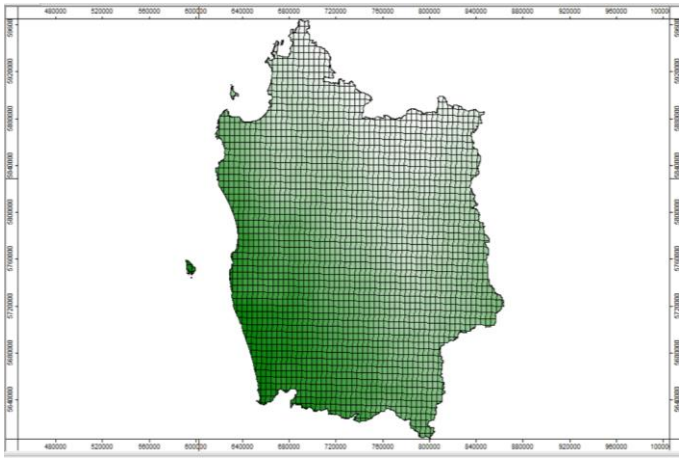


Valores más oscuros implican diferencias mayores.

Figura 3. Distribución de los cambios en temperatura media anual a 2050 (°C)

Radiación Solar

En la Figura 4 se describe la distribución de los cambios en radiación solar (W/m^2) al 2050.



Valores más oscuros implican diferencias mayores.

Figura 4. Distribución de los cambios en radiación solar a 2050 (W/m^2)

En el Cuadro 2 se caracteriza en términos medios los cambios estimados al 2050 en todas las comunas en las regiones de Bio Bio y Araucanía.

Cuadro 2. Promedios de los cambios al 2050 en variables climáticas por comunas

Provincia/comuna	Cambios Temperatura (°C)	Cambios Precipitacion (mm)	Cambios Radiacion (W m^{-2})
Arauco	1,10	-14,54	0,26
Arauco	1,04	-15,11	0,23
Cañete	1,15	-14,44	0,27
Contulmo	1,23	-14,08	0,27
Curanilahue	1,29	-15,07	0,21
Lebu	0,86	-14,84	0,28
Los Alamos	1,15	-14,87	0,25
Tirua	0,99	-13,35	0,32
BioBio	1,29	-14,97	0,17
Alto BioBio	1,45	-14,22	0,19
Antuco	1,42	-15,17	0,16
Cabrero	1,21	-15,60	0,14
Laja	1,23	-14,73	0,18
Los Angeles	1,20	-14,76	0,17
Mulchen	1,26	-14,74	0,18
Nacimiento	1,31	-14,81	0,19
Negrete	1,20	-14,59	0,20
Quilaco	1,36	-14,58	0,18
Quilleco	1,28	-15,08	0,15
San Rosendo	1,26	-15,27	0,18
Santa Barbara	1,32	-14,96	0,16
Tucapel	1,31	-15,39	0,14
Yumbel	1,25	-15,66	0,16

Concepcion	1,16	-16,03	0,16
Chiguayante	1,20	-16,18	0,17
Concepcion	1,21	-16,33	0,16
Coronel	1,09	-15,62	0,18
Florida	1,28	-16,40	0,14
Hualpen	0,96	-16,25	0,17
Hualqui	1,28	-15,80	0,17
Lota	1,20	-15,22	0,17
Penco	1,19	-16,47	0,15
San Pedro de la Paz	1,05	-16,03	0,17
Santa Juana	1,35	-15,13	0,18
Talcahuano	0,93	-16,52	0,16
Tome	1,18	-16,44	0,14
Cautin	1,21	-12,82	0,30
Carahue	1,04	-13,03	0,33
Cholchol	1,23	-13,54	0,31
Cunco	1,27	-12,90	0,26
Curarrehue	1,36	-12,12	0,25
Freire	1,22	-12,70	0,31
Galvarino	1,24	-13,64	0,29
Gorbea	1,22	-12,03	0,33
Lautaro	1,25	-13,95	0,25
Loncoche	1,21	-11,75	0,33
Melipeuco	1,38	-13,62	0,22
Nueva Imperial	1,21	-13,13	0,33
Padre las Casas	1,22	-13,14	0,29
Perquenco	1,25	-13,85	0,25
Pitrufquen	1,22	-12,30	0,32
Pucon	1,31	-12,34	0,26
Saavedra	0,91	-12,35	0,36
Temuco	1,23	-13,34	0,29
Teodoro Schmidt	1,06	-12,15	0,35
Tolten	1,09	-11,70	0,35
Vilcun	1,28	-13,57	0,24
Villarrica	1,19	-12,07	0,29
Malleco	1,29	-14,22	0,22
Angol	1,31	-14,73	0,21
Collipulli	1,27	-14,57	0,19
Curacautin	1,38	-14,10	0,20
Ercilla	1,22	-14,54	0,20
Lonquimay	1,45	-13,05	0,22
Los Sauces	1,28	-14,48	0,24
Lumaco	1,25	-13,68	0,29
Puron	1,32	-14,45	0,26
Renaico	1,20	-14,72	0,20
Traiguen	1,25	-13,93	0,25
Victoria	1,26	-14,15	0,21

El escenario futuro al 2050 en términos de las variables climáticas, temperatura media anual (°C), precipitación (mm) y radiación solar (W/m^2) se caracteriza por una reducción de la precipitación acumulada y un aumento de los niveles de radiación solar y temperatura media anual.

Por otra parte, los parámetros biofísicos promedios generados a partir de las parcelas de muestreo disponibles en ambas regiones se describen en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Parámetros biofísicos promedios de la región

Región	Volumen (m^3/ha)	Area Basal (m^2 /ha)	Densidad (arb/ha)	Crecimiento (m^3 /ha/año)	Vol. Aserrable (m^3/ ha)	Volumen Neto (m^3/ ha)	Volumen Leña (m^3/ ha)	DMC (cm)
Bio Bio	183,5	22,5	721,9	11,1	6,6	183,0	n.d.	19,8
Araucanía	199,8	29,3	925,7	6,7	32,7	145,1	54,7	24,4
Total	**191,6**	**25,9**	**823,8**	**8,9**	**19,65**	**164,0**	**54,7**	**22,1**

De acuerdo a los datos descritos en el Cuadro 3 el 86% del volumen potencial corresponde a volumen neto disponible, siendo el 12% volumen aserrable y la diferencia es considerado como material de baja calidad y se asume como volumen de leña. Los datos del Cuadro 3 constituyen el insumo necesario para la evaluación de la rentabilidad económica y posterior estimación del valor umbral asociado a esa rentabilidad W_0 en ecuación [2].

Método

Vulnerabilidad

A objeto de considerar la conceptualización de la vulnerabilidad descrita por el IPCC, se aplica el enfoque metodológico de Luers *et al. (2003)* el cual implica la definición de una productividad de referencia y de una curva de productividad que refleje el comportamiento de esta en relación con uno o varios factores de estrés, también conocida como la función de bienestar (Figura 5).

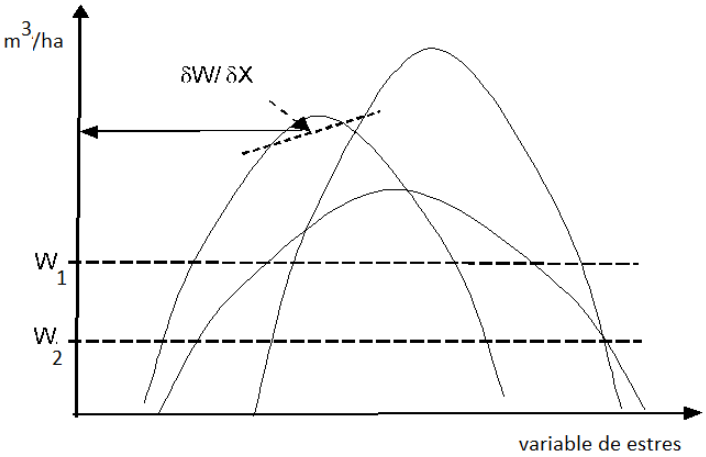


Figura 5. Determinación de la vulnerabilidad por definición de funciones de bienestar (productividad) por especies o grupos de especies (parábolas) y valores umbral (Wi con i=0,1)

De acuerdo a la Figura 5, la vulnerabilidad se calcula como la relación entre la sensibilidad y el estado del sistema:

$$\text{Sensibilidad} = \frac{\delta W}{\delta x} \qquad [1]$$

$$\text{Estado} = \frac{W}{W_0} \qquad [2]$$

Donde:

$$\text{Vulnerabilidad} = \left|\frac{sensibilidad}{estado}\right| \qquad [3]$$

En el Cuadro 4 se describe las respuestas medias al cambio climático evaluadas mediante la aplicación de modelo ecofisiologico (INFOR, 2020).

Cuadro 4. Valores de variables climáticas para la elaboración de la curva de bienestar

Valor Estresor	T°C	$\frac{\partial V}{\partial t}$ (m³/ha/año)	Productividad (m³/ha)
1	10	3.5	193.0
2	15	0.7	203.5
3	23	3.9	190.5
	30	7.9	148.9
5	8	4.6	184.7

En la Figura 6 se describe la curva de bienestar resultante para el Tipo Forestal Roble-Raulí-Coihue de la región de Bio Bio y la región de la Araucanía

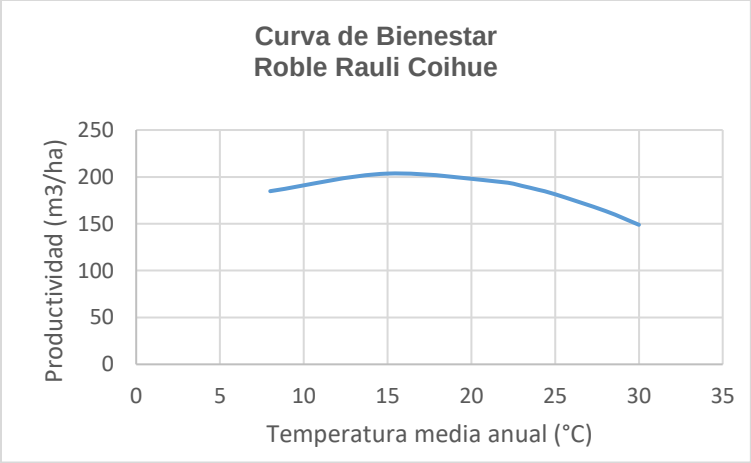


Figura 6 Curva de bienestar para Roble-Raulí-Coihue de la región del Bio Bio y la Araucania

Para propósitos gráficos se utiliza la variable temperatura media anual como variable indicadora clave, no obstante, es importante recordar que cada valor del eje de las abscisas corresponde a un vector conjunto de las variables descritas en el Cuadro 4.

A partir de la curva de bienestar la sensibilidad del tipo forestal Roble-Raulí-Coihue para las regiones de Bio Bio y la Araucanía se puede resumir de acuerdo a [1] como:

$$sensibilidad = \frac{\partial V}{\partial x} = -0.574x + 9.2897 \qquad [4]$$

Con x : Temperatura media anual (T°C)

Identificación del Valor Umbral

El valor umbral corresponde a la productividad por hectárea para la cual el valor presente neto iguala a cero. Para identificar el valor umbral en m^3/ha, se recurre a identificar el esquema de manejo más factible para rodales de Roble-Raulí-Coihue de las regiones del Bio Bio y La Araucanía.

Dados los parámetros de existencias por hectárea se identificó como esquema de manejo promedio la opción de manejo coetáneo, la cual consiste en una corta de regeneración a la edad de 65 años y otra a los 70 años, con dos cortas intermedias la primera a los 35 años y la segunda a los 50 años, para un diámetro objetivo de 45 cm, sin cosecha final y asumiendo regeneración vegetativa.

Este esquema se basa en el esquema coetáneo recomendado por INFOR (Rojas *et al*.,2012). Se asume una edad promedio inicial al momento de la primera intervención de 35 años. En el Cuadro 5 se describe los parámetros medios iniciales asociados a este escenario.

Cuadro 5. Parámetros medios iniciales para evaluación

Manejo Coetaneo	Parámetros	Unidades
Volumen inicial	191.6	(m^3/ha)
Volumen aserrable (>24 cm)	19.65	(m^3 /ha)
Volumen pulpable	144.35	(m^3/ha)
Volumen leña	54.7*	(m^3/ha)
Edad inicial	35	(años)
DMC objetivo	45	(cm)
Crecimiento promedio	8.9	(m^3/ha/año)

(*) Al no estar disponible el volumen de leña para la región del Bio Bio se asumió este valor como aquel de la región de la Araucanía

Considerando una tasa de crecimiento promedio para ambas regiones de 8,9 m^3/ha/año, en el Cuadro 6 se describe la distribución de productos obtenida al final del periodo de proyección.

Cuadro 6. Productos finales para el periodo de proyección

Intervenciones	Edad (Años)	Aserrable 24 (m^3/ha)	Metro ruma (m^3/ha)	Leña (m^3/ha)	Total (m^3/ha)
Raleo 1	35	7,3	25,55	40,0	73,0
Raleo 2	50	15,0	15,0	30,0	60,0
Corta 1	65	27,0	27,0	36,0	90,0
Corta 2	70	38,1	38,1	50,8	127,0
Total productos					**350,0**

De esta forma el volumen total de productos extraídos bajo este esquema de manejo alcanza los 350 m^3/ha, quedando un volumen en pie remanente de 153,1 m^3.

Evaluación de la Rentabilidad Económica del Esquema de Manejo Seleccionado

En consideración a los resultados en productos obtenidos para el periodo de proyección, se procede a evaluar económicamente estos resultados de forma de obtener como valor umbral aquella producción total que iguale el valor presente neto al valor cero. Los siguientes valores describen en general los precios asociados a los diferentes productos de bosques nativos.

Cuadro 7. Supuestos de precios asociados a los productos para la evaluación

Precios	(US$/ m³)	($/ m³)	Puesto en
Aserr 24	78,0	30.000	Aserradero
Pulpa	33,0	16.250	Planta
Leña	37,0	27.200	Ciudad

(Fuente: Boletínes de Precios INFOR, 2023)

Los ítems de costos asociados a las actividades para la producción generada por el esquema de manejo definido están dados en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Detalle de los costos asociados a la ejecución del esquema de manejo utilizado

Actividades de Cosecha	Aserrable (US$/ m³)	Cosecha Leña (US$/ m³)	Cosecha pulpable (US$/ m³)
Volteo- Madereo	27,0	12,0	12,0
Fajas caminos y otros	4,0	3,0	3,0
Administración ($/ m³)	12,0		
Total (US$/ m³)	43,0	15,0	15,0
Total ($/ m³)	34.400,0	12.000,0	12.000,0

En consideración a los resultados de la proyección resultante del esquema de manejo propuesto y dado que el valor umbral está definido por aquel valor de producción que provoca un valor presente neto igual a cero, la distribución de productos que permite alcanzar este valor se describe en el Cuadro 9.

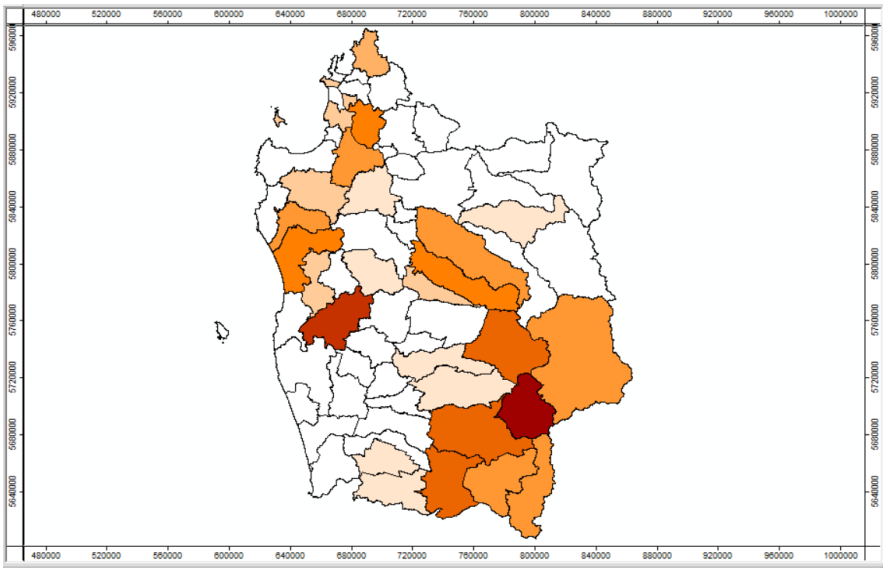
Cuadro 9. Distribución de productos para un VPN=0 (m³/ha)

Productos	Raleo 1	Raleo 2	Corta 1	Corta 2	Total
Aserrable	0,6	6,3	27,0	6,1	40
Metro ruma	0,0	10,5	27,0	21,6	59
Leña	1,1	8,2	36,0	15,0	60
Total	**1,7**	**25,1**	**90,0**	**42,8**	**159**

Del Cuadro 9 se concluye que el valor umbral (W_0) corresponde a una existencia en volumen de 159 m³/ ha. Bajo esa productividad el bosque no es rentable.

RESULTADOS

El siguiente mapa describe la vulnerabilidad asociada a cada comuna de la región (valores más oscuros implican mayor vulnerabilidad).



(Color más oscuro indica más vulnerabilidad)

Figura 7. Vulnerabilidad por comuna ambas regiones

En el Cuadro 10 son detallados los valores de vulnerabilidad al cambio climático para las regiones del Bio Bio y de La Araucanía para el Tipo Forestal Roble-Raulí-Coihue a nivel de comunas que cuentan con muestra de terreno.

Cuadro 10. Vulnerabilidades por comunas para las regiones del Bio Bio y La Araucanía

Region	Comuna	Vulnerabilidad
Bio Bio	Antuco	0,65
Bio Bio	Canete	3,19
Bio Bio	Contulmo	2,04
Bio Bio	Curanilahue	1,69
Bio Bio	Los alamos	2,17
Bio Bio	Mulchen	1,15
Bio Bio	Nacimiento	1,43
Bio Bio	Quilaco	1,46
Bio Bio	Quilleco	4,06
Bio Bio	Santa Barbara	0,98
Bio Bio	Santa Juana	2,36
Bio Bio	Tucapel	0,50
La Araucanía	Collipulli	2,15

La Araucanía	Cunco	8,44
La Araucanía	Curacautin	5,05
La Araucanía	Curarrehue	2,04
La Araucanía	Ercilla	1,13
La Araucanía	Gorbea	8,56
La Araucanía	Lautaro	1,41
La Araucanía	Loncoche	1,39
La Araucanía	Lonquimay	4,22
La Araucanía	Lumaco	3,98
La Araucanía	Melipeuco	5,73
La Araucanía	Pucon	7,79
La Araucanía	Vilcun	6,16
La Araucanía	Villarrica	2,21

En la región del Bio Bio las comunas de Quilleco, Santa Juana, Cañete, Contulmo y los Alamos corresponden a aquellas de más alta vulnerabilidad, mientras que, en la región de la Araucanía, las comunas de Cunco, Curacautin, Gorbea, Lonquimay, Lumaco, Melipeuco, Pucon y Vilcun presentan altos valores de vulnerabilidad.

En lo relativo a las ganancias y pérdidas en crecimiento por parte de los bosques de Roble-Rauli-Coihue de ambas regiones, estas se detallan a continuación a nivel de comunas que poseen muestras de terreno.

Cuadro 11. Ganancias y Pérdidas en Crecimiento al 2050 región del Bio Bio

Comuna	(ha)	Ganancias en el 2050 (m^3)	Pérdidas en el 2050 (m^3)
Antuco	29.941,3		-2.946,0
Cañete	17.480,3		-978,3
Contulmo	12.385,2	879,7	
Curanilahue	22.750,2	-	
Los Alamos	10.763,4		-1.234,3
Mulchen	42.826,8	13.464,3	
Nacimiento	19.263,2		-436,1
Quilaco	35.259,0	3.744,6	
Quilleco	23.753,1		-917,6
Santa Barbara	30.984,4	9.681,8	
Santa Juana	10.801,5	903,0	
Tucapel	32.165,7	7.536,4	
Total		**36.209,8**	**-6.512,2**

Cuadro 12. Ganancias y Pérdidas en Crecimiento al 2050 Región de la Araucanía

Comuna	(ha)	Ganancias en el 2050 (m^3)	Pérdidas en el 2050 (m^3)
Collipulli	30.141,1	2.821,6	
Cunco	50.555,3	5.587,4	
Curacautin	39.146,8	1.168,1	
Curarrehue	27.046,5	3.027,0	
Ercilla	7.191,9	102,5	
Gorbea	11.836,6		-81,3
Lautaro	12.020,1	1.023,6	
Loncoche	24.879,9		-1.830,4
Lonquimay	22.297,6	3.015,3	
Lumaco	19.351,7		-879,0
Melipeuco	16.560,7	953,1	
Pucon	39.961,4	2.843,9	
Vilcun	32.018,0	2.615,7	
Villarrica	36.553,5		-2.192,6
Total		**23.158,2**	**-4.983,4**

Para evaluar el efecto de las condiciones futuras (2050), se contrasta el crecimiento de los bosques de Roble-Raulí-Coihue en el presente dados los parámetros climáticos actuales, con la tasa de crecimiento que experimentarán los bosques bajo las condiciones climáticas del 2050. Este contraste para ambas regiones produce un efecto positivo y negativo del cambio climático en los rodales analizados del Tipo Forestal Roble Raulí Coihue.

Efectivamente, en la región del Bio Bio se espera al 2050 un incremento en la biomasa fustal de 36.209,8 m^3, mientras que en la región de la Araucanía se espera un aumento de 23.158,2 m^3 fustales. No obstante, lo anterior en ambas regiones se produce un efecto negativo de 6.512,2 m^3 en la región del Bio Bio y de 4.983,4 m^3 para la región de la Araucanía. El efecto neto para ambas regiones al 2050 alcanza los 29.697,1 m^3 para la región del Bio Bio y de 18.174,8 m^3 para la de La Araucanía.

CONCLUSIONES

Los bosques de Roble-Raulí-Coihue de las regiones del Bio Bio y la Araucanía se ven positiva y negativamente afectados por la variación de las variables climáticas asociadas al cambio climático al 2050. En ambas regiones el efecto positivo domina los efectos del cambio climático.

En el balance ambas regiones presentan un efecto neto positivo al 2050 denotando una mejora de la productividad dadas las nuevas condiciones climáticas.

Respecto de otras regiones analizadas previamente, por ejemplo, Los Ríos (Bahamomdez *et al*., 2021), se mantiene la tendencia de efecto positivo y negativo del cambio climático como una tendencia latitudinal hacia el sur, en virtud de lo cual se puede concluir que estas regiones, de Bio Bio, la Araucanía y Los Ríos, comprenden regiones de transición en la productividad hacia una situación de mejores o iguales productividades debidas al cambio climático.

Si se revisa la situación reportada para la región del Ñuble (Bahamondez *et al.,* 2022), esta región ve afectada negativamente sus crecimientos al 2050, mientras que en la región de los Lagos

(Bahamondez *et al.,* 2023) la productividad de los bosques de Roble-Raulí-Coihue es positiva refrendando a las regiones en referencia como una zona de transición latitudinal desde efectos negativos (región de Ñuble) hacia efectos positivos (región de los Lagos).

Las variables más relevantes que afectan la productividad de los bosques de Roble-Raulí-Coihue son la temperatura media anual (°C), la radiación solar (W/m^2) y la precipitación anual (mm) siendo esta ultima la más importante dado su comportamiento en el modelo ecofisiologico.

Si bien la reducción de la oferta hídrica proveniente de las precipitaciones marca en términos generales una tendencia a la baja, en las regiones al sur de la región del Ñuble el volumen de precipitación sigue siendo aún suficiente como para mantener la resiliencia de los bosques de Roble Raulí-Coihue en escenarios futuros en las regiones al sur de la región del Ñuble.

El hecho que una o más comunas se presenten como vulnerables, no necesariamente implica un efecto negativo, sino que, dada la definición aplicada, la vulnerabilidad depende del estado actual del bosque y las características de su sensibilidad a los cambios (ec. [2] y [3]), lo cual indica que su vulnerabilidad puede superarse mediante la aplicación de buenas prácticas de manejo y/o restauración de bosques.

REFERENCIAS

Bahamondez, C.; Buchner, C.; Muller-Using, S.; Rojas, Y.; Schlegel, B. y Vergara, G. (2021). Vulnerabilidad al Cambio Climático del Tipo Forestal Roble – Raulí – Coihue de la región de los Ríos. Chile. Instituto Forestal, Chile. Informe Técnico 249

Bahamondez, C.; Buchner, C.; Muller-Using, S.; Rojas, Y.; Schlegel, B. y Vergara, G. (2022). Vulnerabilidad al Cambio Climático del Tipo Forestal Roble – Raulí – Coihue de la región de Ñuble. Chile. Instituto Forestal, Chile. Informe Técnico 257

Bahamondez, C.; Buchner, C.; Muller-Using, S.; Rojas, Y.; Schlegel, B. y Vergara, G. (2023). Vulnerabilidad al Cambio Climático del Tipo Forestal Roble – Raulí – Coihue de la región de los Lagos. Chile. Instituto Forestal, Chile. Informe Técnico 264

INFOR (2020). MoDiVe. Modelo Dinámico de Vegetación. Instituto. Forestal Informe Final. https://ifn.infor.cl/

IPCC (2001). Cambio Climático. Informe de Síntesis., Tercer Informe de Evaluación, 2001 Intergovernmental Panel on Climate Change: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/TAR_syrfull_es.pdf

Luers, A.L.D.; Lobell, B.; Sklar, L.S.C. and Adams, L. (2003). A method for quantifying vulnerability, applied to the agricultural system of the Yaqui Valley, Mexico. Global Environmental Change, 13 (2003) 255-267

Rojas, Y.; Muller-Using, S.; Martin, M. y Muller-Using. B. (2012). Rentabilidad Económica se Distintas Propuestas Silvícolas para los Renovales de *Nothofagus* en el Centro Sur de Chile. Instituto Forestal, Chile. Informe Técnico 193

Universidad de Chile (2007). Estudio de la Variabilidad Climática en Chile para el siglo XXI. Departamento de Geofísica.

INFOR

www.infor.cl