



Universidad de Chile
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Escuela de Postgrado
Magíster en Geografía

**GESTIÓN ESPACIAL A LA DERIVA.
MODELAMIENTO DE ESCENARIOS DE USO DEL SUELO EN LA
CUENCA DEL RÍO TRANCURA, ARAUCANÍA, CHILE.**

Manuscrito preparado para ser enviado a la revista LAND de la editorial MDPI
Como requisito para optar el Grado de Magíster en Geografía

ALEJANDRO JAVIER DÍAZ JARA
Profesora guía: Dra. Daniela Manushevich Vizcarra

SANTIAGO - CHILE
2023

GESTIÓN ESPACIAL A LA DERIVA. MODELAMIENTO DE ESCENARIOS DE USO DEL SUELO EN LA CUENCA DEL RÍO TRANCURA, ARAUCANÍA, CHILE.

Alejandro Díaz Jara ^{1*}, Daniela Manushevich ^{2,3,4}, Aarón Grau ⁵, M. Zambrano-Bigiarini^{2, 6}

¹ Magíster en Geografía, Universidad de Chile

² Centro de Investigaciones sobre el Clima y la Resiliencia (CR)2, Santiago, Chile

³ Instituto de Ecología y Biodiversidad, Santiago, Chile

⁴ Departamento de Geografía, Universidad de Chile, Santiago, Chile

⁵ Magíster en Gestión Territorial de Recursos Naturales

⁶ Departamento de Ingeniería en Obras Civiles, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile

ABSTRACT

Land use change scenario modeling is crucial for understanding the socio-ecological outcomes of current decisions and informing management by exploring future configurations. The State remains an important player and it is essential to thoroughly understand its management rationale for effective modeling, especially during the policy rescaling process, where unique factors arise from local dynamics at specific sites. In Chile, mandatory land use instruments are scarce, and we argue that current management is shaped by a complex interplay of fragmented State institutions, market-driven policies and beyond the state socio-economic actors. In this research, we investigate how the current State management interactions may lead to different land use outcomes at a catchment level by the year 2050. We employed a mixed qualitative-quantitative approach, conducting interviews with state officials and local stakeholders to inform statistical modeling. The results are presented in three narrative scenarios with explicit spatial representations of land use, which are linked to variations in identified management dynamics. We conclude that, even in the scarcity of instruments, current management practices have the potential

to favor changes that reflect expectations as well as address concerns. However, the former requires greater state attributions and public financing, which can lead to inequities. Scenario modeling is useful for visualizing how these differences manifest through spatial trends and for focusing existing tools on enhancing beneficial changes for both people and ecosystems.

Keywords: Land use scenario modeling; LULCC; Land use management; Rescaling; State Space; Land use Policy; Curarrehue; Araucanía; Chile

RESUMEN

El modelamiento de escenarios de cambio de uso del suelo es crucial para comprender los resultados socio ecológicos de las decisiones actuales e informar a la gestión mediante la exploración de configuraciones futuras. El Estado sigue siendo un actor importante y es esencial comprender a fondo las lógicas en la gestión para un modelamiento efectivo, especialmente durante el proceso de re-escalamiento de políticas, donde factores únicos surgen de las dinámicas locales en sitios específicos. En Chile, los instrumentos de planificación territorial son escasos, y sostenemos que la gestión actual está configurada por una compleja dinámica de instituciones estatales fragmentadas, políticas impulsadas por el mercado y actores socioeconómicos más allá del Estado. En este estudio, investigamos cómo las interacciones presentes en la gestión estatal pueden conducir a diferentes resultados de uso del suelo a escala de cuenca para el año 2050. Empleamos un enfoque metodológico mixto cualitativo-cuantitativo, con entrevistas a funcionarios estatales y actores locales para informar el modelamiento estadístico. Los resultados se expresan en tres escenarios narrativos y espacialmente explícitos de uso suelo, que se vinculan con variaciones en las dinámicas de gestión identificadas. Concluimos que, aun en la escasez de instrumentos, las prácticas de gestión actuales tienen el potencial, tanto de favorecer cambios que expresan expectativas, como

aquellos que son preocupaciones de los participantes. Sin embargo, las primeras requieren de mayores atribuciones estatales y financiamiento público generando inequidades. El modelamiento de escenarios es útil para visualizar cómo estas diferencias se emplazan a partir de tendencias espaciales y para enfocar las herramientas existentes para potenciar cambios beneficiosos para las personas y los ecosistemas.

Palabras clave: Modelo de escenarios de uso del suelo; LULCC, gestión de uso del suelo; Re-escalamiento; Espacialidad Estatal; Políticas de uso del suelo; Curarrehue; Araucanía; Chile

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Modelamiento de escenarios de cambio de uso del suelo

El cambio de uso y cobertura del suelo desempeña un papel fundamental en la capacidad del planeta para sustentar la vida dentro de límites viables en el futuro. El cambio de uso de suelo tiene efectos generalizados en el sistema climático (IPCC, 2019), el ciclo hidrológico (Sahin & Hall, 1996; Turner et al., 2016; Vörösmarty et al., 2000), la biodiversidad (Barnosky et al., 2011; IPBES, 2018), la seguridad alimentaria (FAO, 2018) y el cambio geológico a largo plazo (Stephens et al., 2019). Además, ha sido identificado como una de las principales causas de la degradación de los ecosistemas que socava la capacidad de la naturaleza para sustentarse (Díaz et al., 2018; Gomes et al., 2021; Pereira, 2020). Las actividades de uso de la tierra han transformado una gran parte de la superficie terrestre, en el cual los cambios en la gestión del suelo tienen un papel relevante (Foley et al., 2005). En este contexto, la simulación de escenarios de cambio de usos del suelo a través de modelos espacialmente explícitos ha aumentado en el contexto de estudios ambientales (Verburg et al., 2019) y son herramientas importantes para informar en la planificación y la gestión (Verburg et al., 2002).

Los escenarios pueden entenderse como narraciones plausibles, descritas en palabras y números, de futuros coevolutivos alternativos de sistemas socio ecológicos (Swart et al., 2004; Thompson et al., 2012). Pueden ser una herramienta eficaz para complementar incertidumbres, apoyar políticas y tomar decisiones (Kok et al., 2015). Por lo general, los modelos espacialmente explícitos son el resultado de una combinación de datos cuantitativos y cualitativos para mejorar su rendimiento (Alcamo, 2008; Mallampalli et al., 2016; Swart et al., 2004). Por un lado, los datos cualitativos a menudo se basan en imágenes de percepción remota clasificadas en píxeles que representan tipos de usos de suelo (Verburg, 2006) y los resultados de la simulación son el resultado de descripciones numéricas de tasas, tipos y asignaciones espaciales de usos (Mallampalli et al., 2016). En consecuencia, los escenarios brindan apoyo a las políticas al proporcionar resultados numéricos (Alcamo, 2008) y tienen la ventaja de combinarse con simulaciones biofísicas, como modelos hidrológicos o de niveles de fósforo (Mallampalli et al., 2016) . Por otro lado, los escenarios cualitativos se basan en el desarrollo de argumentos que se presentan como un método para integrar supuestos del futuro en narrativas (Priess & Hauck, 2014) y brindan información valiosa sobre los resultados probables de decisiones alternativas (Mallampalli et al., 2016). Además, ofrecen la ventaja de representar las perspectivas de múltiples partes interesadas, proporcionando narraciones comprensibles y atractivas como medio para transmitir información futura, en contraste con los modelos áridos (Alcamo, 2008). Esto es particularmente significativo porque implica la participación de personas que normalmente no son consideradas "expertas", pero que poseen una comprensión profunda de las realidades y los conflictos que afectan a sus respectivas regiones (Palacios-Agundez et al., 2013; Patel et al., 2007).

Los escenarios han sido utilizados para evaluar cambios en los sistemas socio ecológicos en diferentes escalas, que van desde estudios locales a nivel de cuenca hasta análisis globales (Priess & Hauck, 2014; Biggs et al., 2010; Priess et al., 2018). Un renombrado ejemplo de método mixto en el modelamiento de escenarios es el desarrollado por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) denominado Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (Shared Socio-Economic Pathways en inglés) que integra diferentes narrativas globales en escenarios cualitativos para comprender el clima futuro. En estos escenarios, la gestión del uso de suelo tiene un potencial significativo para mitigar los efectos de las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la absorción de carbono (Popp et al., 2017). Se basa en la integración de factores socioeconómicos claves relacionados con el suelo, como la dieta humana y del ganado, los desechos, la urbanización, las políticas de uso del suelo y la gestión climática, entre otros (Doelman et al., 2018; Popp et al., 2017). Relacionado con lo anterior, el cambio de uso de suelo y cobertura es reconocido como un fenómeno global (Foley et al., 2005; Meyer & Turner, 1992). Sin embargo, al analizar un fenómeno ambiental a esa escala, se tiende a ocultar el hecho evidente de que el mundo está compuesto por diferentes sistemas políticos asociados a estados-nación con diferentes estructuras políticas (Corry, 2020). El Estado, a través de sus políticas e instituciones, es un agente relevante que puede incidir en el cambio de uso del suelo (Legrand et al., 2013; Manuschevich et al., 2019).

1.2. Suelo, Estado y Escala

El vínculo entre suelo y Estado tiene una larga relación histórica, ya que el primero, opera tanto como un componente fundamental de la estructura territorial del Estado, como un recurso natural espacialmente limitado, donde la riqueza, el poder y la ventaja se articulan, promulgan y disputan (Zhou, 2022, p. 2). Es importante reconocer la importancia continua de los sistemas estatales en los procesos de gestión y configuración del suelo. Esto es particularmente relevante

cuando se abordan las potenciales crisis asociadas al cambio climático, ya que a menudo superan la capacidad de los agentes individuales, el sector privado u otras organizaciones (Parenti, 2015). Solo el Estado agrupa la fuerza, la capacidad económica y la legitimidad política para responder efectivamente a estas crisis a escalas agregadas (Parenti, 2015). Además, el Estado juega un papel central en la regulación ambiental, y las relaciones encarnadas en el Estado son fundamentales en numerosos conflictos ambientales (Loftus, 2020). La investigación sobre el uso del suelo se ha centrado únicamente en el papel de los agentes individuales, como el propietario; sin embargo, las políticas son implementadas por la burocracia estatal dentro de un contexto territorial e histórico determinado. Parenti destaca que incluso en los derechos de propiedad, el Estado actúa como el “terrateniente máximo”, gestionando los valores de uso de los recursos naturales (Emel et al., 2011; Parenti, 2015). Los derechos de propiedad, distintos de la posesión, son un concepto abstracto que se basa en el poder territorial, lo que significa que detrás de cada propietario está el Estado, que hace cumplir la propiedad cuando es necesario (Parenti, 2015). En términos de organización política y poder, el Estado sigue siendo una entidad muy relevante, ya que tiene el monopolio legítimo de la fuerza que opera a través del aparato administrativo, compuesto por gobiernos nacionales, instituciones, departamentos, agencias y funcionarios estatales (Whitehead et al., 2007).

En este contexto, varias políticas y regulaciones de uso del suelo interactúan en cada contexto geográfico, por lo que las definiciones y regulaciones nacionales son constantemente interpretadas y cuestionadas a escala subnacional. Estas dinámicas pueden entenderse a través del “proceso espacial de estado” de Brenner. Brenner se refiere a cómo las instituciones estatales se movilizan para regular las relaciones sociales e influir en las ubicaciones geográficas de manera escalar y específica del sitio (Brenner, 2004, 2009). Esto puede ocurrir a través de políticas estatales enfocadas en el espacio, involucrando inversiones públicas

y subsidios financieros; o a través de efectos espaciales indirectos resultantes de políticas estatales aparentemente no espaciales que tienen selectividades geográficas ocultas o interactuando con condiciones locales específicas (Brenner, 2004, 2009). Este proceso de re-escalamiento estatal desafía el énfasis anterior en el trasfondo fijo de la escala nacional del poder político, reconociéndose como una dimensión dinámica y cuestionada de los procesos político-económicos que puede modificarse (Brenner, 2004, 2009; Hollingsworth, 1998; Jessop, 2002). Similarmente, las causas del cambio de uso de suelo tienden a ser complejas, específicas del contexto y es importante comprender los procesos y estructuras subyacentes del contexto específico (Assaf et al., 2021; Foley et al., 2005; Geist & Lambin, 2002; Hauck et al., 2019; Primmer et al., 2015).

1.3. (Falta de) Gestión del uso del suelo en Chile

En el transcurso de cuatro décadas, las políticas públicas orientadas al mercado y economías extractivistas han socavado la capacidad de conciliar las demandas productivas con los servicios ecosistémicos esenciales proporcionados por la tierra, incluidos el suelo, el agua y la biodiversidad (Salazar et al., 2022). Actualmente, el Estado chileno no cuenta con un marco regulatorio específico que reconozca plenamente la dimensión híbrida del uso del suelo y la cobertura, en el cual, el suelo refleja objetivos humanos moldeados por fuerzas sociales, y la cobertura del suelo se relaciona con condiciones biofísicas con consecuencias ambientales (Meyer & Turner, 1992). Si bien existe un proyecto en curso para establecer una única "ley marco de uso del suelo" que reconozca la diversidad social y ecológica, su cronograma de promulgación sigue siendo incierto (Aravena et al., 2021).

En su lugar, el marco legal existente que regula el uso del suelo tiende a priorizar la organización institucional en sectores por sobre una perspectiva territorial (Márquez & Veloso, 2020). Consecuentemente, el marco institucional es caracterizado como complejo, con políticas e instrumentos fragmentados en

varios sectores y agencias (Precht et al., 2016). En la práctica la gestión del suelo ocurre segmentado y caso a caso, priorizando sectores específicos como vivienda, agua, bosques y agricultura, lo que puede generar conflictos y agotamiento de los recursos naturales (Henríquez-Dole et al., 2018; Miranda et al., 2015). Además, esta condición se agudiza en zonas rurales, debido a que las políticas e instrumentos se enfocan principalmente en entornos urbanos (Márquez, 1999; Márquez & Veloso, 2020). Aun cuando, el ordenamiento, la planificación y la gestión del territorio, han cobrado impulso al promulgar políticas (Cordero et al., 2016; Decreto 469. Aprueba política nacional de ordenamiento territorial, 2021) para responder a actividades controversiales en el uso del suelo (Aguayo et al., 2016; Armijo Z. & Caviedes B., 2010; Barrena et al., 2014; Fuenzalida & Quiroz, 2012; Manushevich, 2020; Márquez, 1999) enfrenta grandes desafíos (Andrade et al., 2008; Cordero et al., 2016; Espinoza Lizama, 2019; Márquez & Veloso, 2020; Miranda et al., 2015; Orellana et al., 2020).

En este contexto, sostenemos que, a pesar de la falta de una gestión integral y específica del suelo, el Estado aún ejerce una gestión sobre las actividades que usan el suelo. Esta perspectiva se sustenta en precedentes teóricos que desarrollan análisis críticos del marco institucional chileno (Andrade et al., 2008; Márquez, 1999; Márquez & Veloso, 2020; Miranda et al., 2015). Andrade et al. (Andrade et al., 2008) distinguen entre planificación y gestión, donde el ordenamiento territorial implica formular planes para alcanzar objetivos o definir un modelo territorial futuro. En contraste, la gestión espacial solo implica ejercer la autoridad administrativa para emitir permisos, modificar regulaciones o imponer sanciones por actividades condicionadas en lugares específicos. En segundo lugar, proponen una clasificación de reglas directas e indirectas en la gestión del territorio (Andrade et al., 2008). Las reglas directas regulan principalmente el uso del suelo a través de instrumentos de planificación territorial, mientras que las reglas indirectas impactan el uso del suelo debido a regulaciones relacionadas

con otros asuntos, incluso si no están directamente vinculadas al uso del suelo (Andrade et al., 2008). En la ausencia de instrumentos de planificación, el proceso de cambio del uso del suelo está condicionado por las interacciones de varias gestiones institucionales; otros actores individuales y colectivos relevantes y; las características biofísicas geográficas de un contexto específico. Por lo tanto, este estudio cuestiona las concepciones estáticas de la gestión estatal, incorporando otros factores subyacentes a escala de cuenca. El objetivo de esta investigación es integrar diferentes dinámicas en la gestión estatal en el modelamiento de escenarios de cambio de uso del suelo y cobertura, para informar los resultados espacialmente explícitos hasta el 2050 en la cuenca del río Trancura. Nuestra hipótesis sugiere que aún en la ausencia de instrumentos de planificación y considerando el peso que tienen otros actores socioeconómicos en la configuración espacial de la Cuenca, Estado tiene el potencial para gestionar el cambio de uso de suelo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Descripción general

Investigaciones anteriores emplazadas cerca del área de estudio han simulado los resultados potenciales del uso del suelo en torno a la controversial política que fomenta las plantaciones forestales comerciales a gran escala (Galleguillos et al., 2021; Maestriperi et al., 2017; Manushevich et al., 2019; Manushevich & Beier, 2016; Sepúlveda-Varas et al., 2019). Sin embargo, en el área de estudio, el cambio de uso del suelo no es atendido por una sola política, sino por una combinación de diversas políticas e instituciones influenciadas por el contexto geográfico particular. Por lo tanto, nos basamos en la afirmación de que los patrones de cambio de uso del suelo reflejan una intervención estatal específica del sitio influenciada y/o complementada por las fuerzas del mercado, la población y otros factores. Utilizamos un método de escenario exploratorio participativo, ya que proporciona información sobre resultados futuros plausibles

mediante la proyección de tendencias potenciales descritas por actores tienen un rol importante en el área de estudio y ayudan a comprender los impactos potenciales de los desarrollos alternativos (Börjeson et al., 2006). En este sentido, el Estado chileno opera en una jerarquía, con formuladores de políticas en la parte superior (por ejemplo, legisladores, presidentes, ministros) y funcionarios estatales de nivel inferior responsables de la aplicación y la toma de decisiones cotidianas (Jaime et al., 2013). La muestra se construye principalmente a partir de estos últimos, ya que sus decisiones durante la fase de implementación tienen un impacto sustancial en sus resultados finales (Martín Jaime et al., 2013) y se complementa con actores locales clave.

Asimismo, esta investigación considera que el cambio de uso de suelo es un reflejo espacial de la dinámica histórica de su contexto social, político, económico y ecológico (Assaf et al., 2021; Balée, 2006). Al desarrollar escenarios de procesos espaciales estatales, es importante reconocer que la transformación de la espacialidad estatal no implica la erradicación completa de las geografías existentes, ya que los actores están limitados y habilitados por configuraciones geográficas históricas heredadas (Brenner, 2004, 2009). En este sentido, después de describir el área de estudio, se incluye una sección de antecedentes que describe las principales instituciones y la participación histórica del Estado en la cuenca. La **Figura 1** describe los pasos metodológicos.

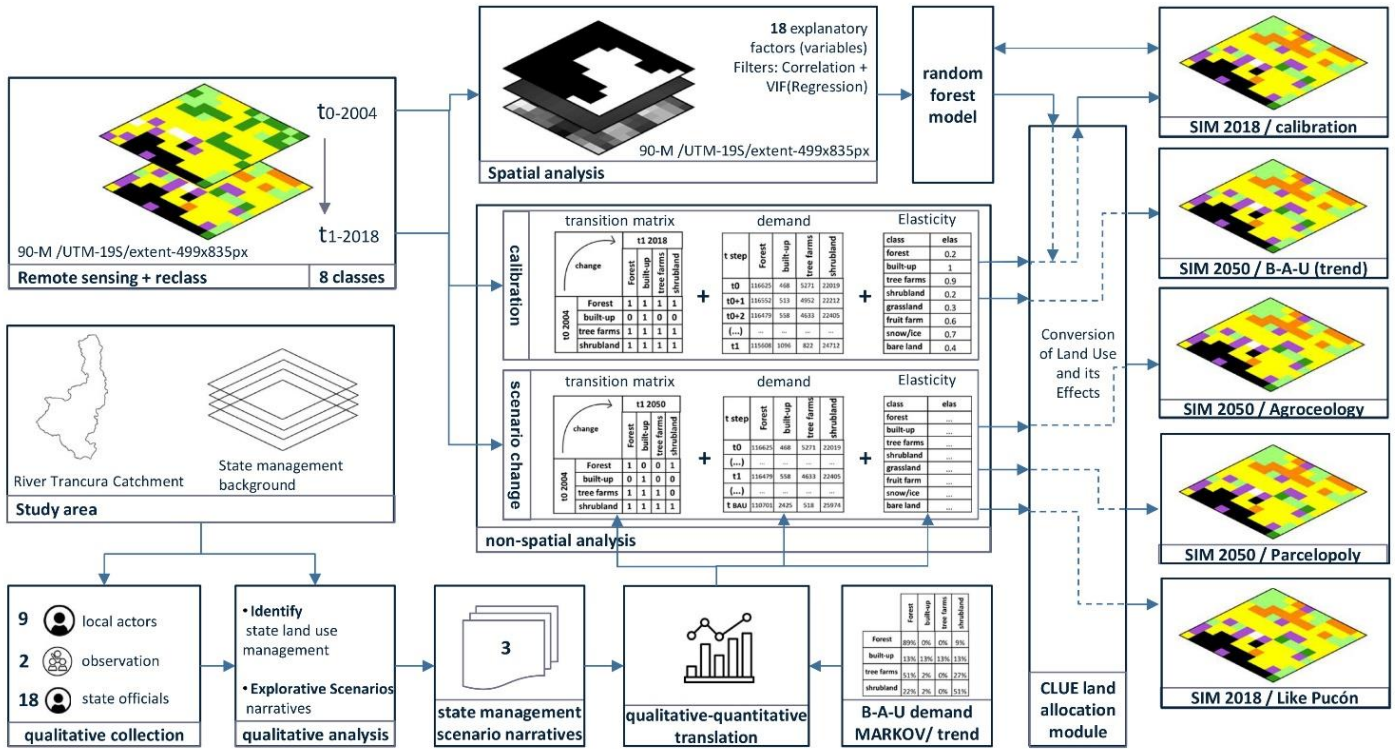


Figura 1. Esquema Metodológico.

2.2. Área de estudio

La cuenca del río Trancura (Lat. 39°20'24''S y Long. 71°34'12''O) se ubica en el sureste de la región de la Araucanía en Chile (Figura 2). La cuenca tiene un régimen hidrológico pluvio-nival (DGA, 2004), montañoso con elevaciones que varían entre los 353 y 3.740 m.s.n.m. Con una superficie de 1.402 km² el área de captación se define a partir del río Trancura antes de la estación fluviométrica Llafenco y se caracteriza por una gran cobertura boscosa ubicada al pie de la Cordillera de los Andes (DGA, 2011). Para el período 1979-2020, esta cuenca presenta precipitaciones que alcanzan cantidades con valores entre 380 y 480 mm/mes, lo que da como resultado un caudal promedio anual de 106,8 m³/s (CR2, 2020). La clasificación climática de Köppen-Geiger caracteriza esta zona con climas templados sin estaciones secas en la zona baja, y con veranos secos en las partes más elevadas. Desde el punto de vista político-administrativo los

límites de la cuenca Trancura coinciden mayoritariamente con el municipio de Curarrehue con un 80,3% y ocupan el 19,7% del municipio de Pucón. Su población es de 10.505, de los cuales 7.397 corresponden a Curarrehue y 4.437 a Pucón (INE, 2017). En Curarrehue el 30% se encuentra en el centro urbano y el 70% en sectores rurales, con un 50,27% de población indígena (INE, 2017). Según los datos de cobertura terrestre de 2018 desarrollados por el equipo, el 69,2% de la superficie está formada por bosques nativos. Se caracteriza por la presencia de árboles de araucaria *Araucaria Araucana*, *Nothofagus pumilio* (Lenga), *Nothofagus dombeyi* (Coihue), *Nothofagus oblicuo* (Roble), *Chusquea culeou* (Colihue), en las áreas de baja altitud están influenciadas por perturbaciones naturales y humanas (CONAF et al., 2009). El matorral cubre el 14,8% *Escallonia Virgata*, *Chilotrimum Rosmarinifolium* y *Berberis Empetrifolia* L. (CONAF et al., 2009). La cobertura de plantaciones forestales con 0,5%, ha disminuido significativamente en comparación con la tendencia de la región y está compuesta principalmente por especies exóticas como *Eucalipto Nitens*, *Eucalipto Globulus*, *Pseudotsuga Menziesii* (Pino Oregón) y *Pinus Insignis* (Pino radiata) (INE, 2021). Mientras que especies exóticas de árboles frutales con un 0,9 % se han incrementado recientemente, con notorio aumento de *Corylus avellana* (Avellano Europeo) y en menor medida *Castanea Sativa* (Castaño), *Prunus Avium* (Cerezo), *Malus domestica* (Manzano) entre otros árboles en huertos frutales (INE, 2021). Aproximadamente el 6% de la tierra está ocupada por pastizales, incluidas las áreas agrícolas, mientras que el 0,7% se clasifica como áreas edificadas. Ambos se encuentran predominantemente en entornos de baja pendiente, que históricamente han sido utilizados para asentamientos humanos, agricultura familiar de autoconsumo y ganadería. El resto está formado por un 6,5% de suelo desnudo, incluyendo zonas rocosas, y un 1,4% cubierto de nieve y hielo.

El cambio de uso de suelo y cobertura en la cuenca del Trancura es muy relevante debido a la dinámica que involucra actividades históricas (agricultura, ganadería,

conservación), con el cambio relacionado con el turismo, las rápidas transformaciones de usos de suelo impulsadas por el mercado inmobiliario asociado para segundas residencias y la presencia de plantaciones frutícolas. Estos cambios tienen implicaciones significativas para el uso del suelo en la región y requieren un modelado prolijo.

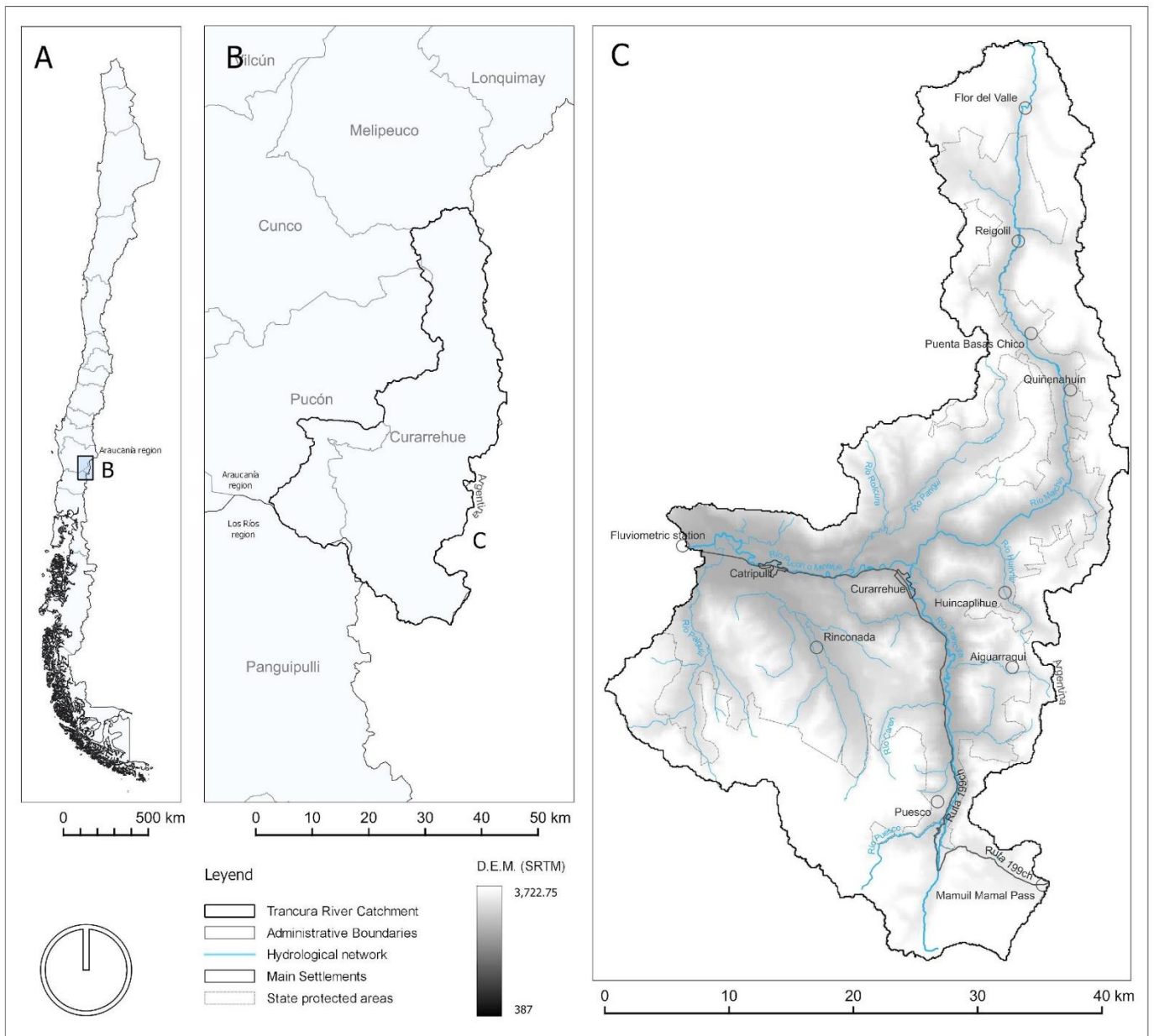


Figura 2. (A) Chile y división regional. (B) Cuenca y Municipios (C) Cuenca del Río Trancura.

2.3. Antecedentes de la gestión estatal

Históricamente, el Estado chileno ha jugado un papel importante en la configuración de los patrones de uso del suelo en la cuenca del río Trancura. Inicialmente habitaron comunidades indígenas mapuche, lo que se remonta a la "Pacificación de la Araucanía". Esta campaña militar del estado chileno resultó en la ocupación del territorio central, lo que provocó la migración de las comunidades mapuche a las faldas de la cuenca. Si bien el paisaje montañoso carecía de tierras fértiles para el cultivo, proporcionó un refugio estratégico en tiempos de persecución (Crisóstomo, 2021). En segundo lugar, la población se complementa con colonos chilenos atraídos por las actividades agrícolas y ganaderas a partir de la crisis económica de 1930 (Municipalidad de Curarrehue, 2018).

Posteriormente, en el siglo XIX el Estado nacional chileno en la Araucanía comienza a impulsar el control de la cordillera "con fines geopolíticos y de explotación económica a través de normas, políticas de población y fomento productivo" (Huiliñir-Curío, 2018, p. 49). Esto tomó dos expresiones en el área de estudio, el control de fronteras estuvo a cargo del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) y la creación de la Ley de Reservas Forestales Fiscales (1879), que sirvió de antecedente legal para la creación de la Reserva Nacional Villarrica o Hualafquén (1912) por parte del Ministerio de Industria e Infraestructura Pública, y el Parque Nacional Villarrica (1940) por parte del Ministerio de Tierras y Colonización de Chile, que pretendía regular la conservación de los bosques (Flores, 2013; Huiliñir-Curío, 2018).

En este contexto, identificamos y examinamos las instituciones estatales cuya gestión influye en el cambio de uso del suelo. En base a literatura que analiza la gestión espacial distinta a los instrumentos de planificación territorial (Andrade et al., 2008; M. A. Márquez, 1999; Miranda et al., 2015), se encontró que las siguientes instituciones tienen un impacto en el cambio de uso del suelo en el área de estudio. Esta revisión de antecedentes es relevante ya que resalta cómo

cada organismo y ministerio apunta de acuerdo al proyecto político y el contexto histórico.

CONAF (1970), La Corporación Nacional Forestal es una entidad de derecho privado dependiente del Ministerio de Agricultura, cuya función principal es administrar la política forestal de Chile. A pesar del carácter privado de CONAF, cuentan con algunos poderes públicos otorgados por la “Ley de Recuperación de Bosque Nativo y Desarrollo Forestal”. Actualmente, en el área de estudio predomina el Parque Nacional y Reserva Villarrica, los cuales forman parte del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) administrado por CONAF y legalmente propiedad del Ministerio de Bienes Nacionales.

SAG (1967), Servicio Agrícola y Ganadero, es el encargado de apoyar el desarrollo de la agricultura, los bosques y la ganadería, a través de la protección y mejoramiento sanitario animal y vegetal. El Decreto Ley 3.516 (Establece normas sobre división de predios rústicos, 1980) es un importante procedimiento de cambio de uso de suelo rural, destinado principalmente a la parcelación de terrenos rústicos únicamente para fines agrícolas, ganaderos o forestales. Sin embargo, este procedimiento se ha entrelazado con el mercado inmobiliario. Este proceso de división del suelo a menudo se transforma en un proyecto de vivienda para residencias secundarias. Desde el 2020, el mercado inmobiliario tuvo un auge, como efecto inesperado de la pandemia. Por un lado, el trabajo telemático para los segmentos profesionales desvinculó los puestos de trabajo de las ciudades (Montalva, 2022). Por otro lado, el retiro de emergencia de los fondos de pensiones permitió el acceso al ahorro previsional y generó condiciones inéditas para la especulación de tierras (Generación M, 2020).

INDAP (1962), Instituto de Desarrollo Agropecuario que depende del Ministerio de Agricultura. Inicialmente, se centró en la modernización e industrialización de la agricultura y la reducción de la pobreza en las zonas rurales a través de métodos convencionales. Sin embargo, en los últimos años ha habido un

reconocimiento creciente de la importancia de los enfoques agroecológicos (Fuentes Acuña & Marchant, 2016).

MINVU (1965), el Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile, es responsable del desarrollo e implementación de instrumentos y políticas de vivienda, urbanismo y planificación. La región de la Araucanía carece de instrumentos de ordenamiento territorial y actualmente se está formulando el Plan Regulador Municipal (PRC), así lo han intentado desde el año 2011 (Gutiérrez & Peña-Cortés, 2011)

SERNATUR (1975), Servicio Nacional de Turismo tiene una gestión indirecta pero influyente para el uso del suelo, es un organismo del Estado encargado de promover el turismo en Chile. Creado por un Ministerio de Economía, su objetivo principal es desarrollar y mejorar la industria del turismo promoviendo a Chile como un destino turístico tanto a nivel nacional como internacional. Antes de su creación, Martínez (Martínez Riquelme, 2019), identifica el papel del Estado chileno (1900-1940) en la creación de un imaginario asociado al turismo en la zona de estudio a través de la promoción y desarrollo de infraestructura, incorporándose a los circuitos del mercado nacional y global. La Subsecretaría de Turismo (2010), actualmente refuerza esta visión a través de la Zona de Interés Turístico Lacustre (ZOIT Lacustre), que propone un modelo de gobernanza público-privado que incluye 3 municipios y otras entidades (Subsecretaría de Turismo, 2016).

El Municipio de Curarrehue (1981), anteriormente estaba bajo la jurisdicción de Pucón (Municipalidad de Curarrehue, 2018). En un patrón cíclico, la gestión política del Municipio se ha alternado entre alcaldes de derecha y de izquierda a lo largo de 32 años desde el retorno a la democracia.

CONADI 1993, Corporación Nacional para el Desarrollo Indígena es una institución crucial en el área de estudio debido a la gran población indígena. Se fraguó inicialmente en el Nuevo Pacto Imperial de 1989 como un compromiso entre las organizaciones indígenas y la coalición política Concertación (centro-

izquierda) que derrocó a la dictadura de Pinochet (Bengoa, 2014). Su objetivo era reconocer constitucionalmente a los pueblos indígenas, ratificar el Convenio 169 de la OIT y establecer una nueva ley indígena (Vergara et al., 2005). Sin embargo, el éxito limitado del gobierno en el cumplimiento de estos compromisos ha resultado en una pérdida de confianza y en un movimiento mapuche cada vez más conflictivo (Vergara et al., 2005, p. 12). En el área de estudio, un conflicto étnico-ambiental por el proyecto de la central hidroeléctrica de Añihuerraqui destaca aún más la incapacidad percibida de la institución para resolver conflictos de manera efectiva (Peralta, 2017).

GORE (1993), en Chile se crearon Gobiernos Regionales avanzando en el proceso de descentralización. Son organismos autónomos responsables de la administración y desarrollo de la región, centrándose en iniciativas económicas, sociales y culturales considerando la preservación del medio ambiente y la participación comunitaria. Actualmente se encuentra en proceso la implementación de instrumentos regionales de ordenamiento territorial (PROT). MMA (2010), el Ministerio del Medio Ambiente de Chile es la institución gubernamental responsable de los asuntos ambientales. Sin embargo, la formulación de políticas ambientales chilenas se ha centrado principalmente en facilitar las actividades del mercado en lugar de hacer cumplir las regulaciones, desviándose de las expectativas convencionales (Tecklin et al., 2011). El involucramiento del Ministerio en las negociaciones de proyectos hidroeléctricos en el área de estudio ha sido objeto de críticas por su inadecuada participación (Peralta, 2017). Actualmente, el ministerio supervisa un plan de descontaminación del lago Villarrica, en el cual el río Trancura es uno de los afluentes más importantes.

2.4. Datos cualitativos

Los datos cualitativos se recopilaron principalmente a través de entrevistas semiestructuradas, que brindan información valiosa para la modelación con la participación de las partes interesadas (Mallampalli et al., 2016). Se realizó en

dos etapas con un total de treinta participantes. Para abordar la diferencia entre participantes diseñamos dos conjuntos de preguntas para las entrevistas, esto es, funcionarios estatales y actores locales. La primera etapa consistió en un trabajo de campo realizado en noviembre de 2021, compuesto por un lado de 9 entrevistas semiestructuradas a actores locales y funcionarios estatales, y por otro, la observación de dos procesos participativos de un instrumento de ordenamiento territorial comunal (PRC) en dos zonas rurales. La muestra inicial de esta etapa se construyó a través de contactos del equipo del proyecto con la Municipalidad de Curarrehue. Luego, a través de un proceso de bola de nieve, se identificaron actores clave adicionales en el área de estudio, que considera administradores de Servicios Sanitarios Rurales, agricultores y miembros de comunidades indígenas.

La segunda etapa implicó dieciocho entrevistas en línea, con funcionarios estatales de instituciones responsables de la gestión del uso del suelo en el área de estudio a nivel regional, provincial y municipal. La muestra inicial derivó de estudios que identificaron instituciones que en sus prácticas de gestión afectan directa e indirectamente el proceso de cambio de uso de suelo (Andrade et al., 2008; Márquez, 1999; Miranda et al., 2015). En el proceso, los participantes recomendaron entrevistas adicionales en la misma lógica de bola de nieve. La estrategia de divulgación consistió en enviar una carta de presentación del proyecto, informando los objetivos principales y solicitando la colaboración de funcionarios vinculados a áreas relacionadas al ámbito del uso del suelo o el medio ambiente.

En ambas etapas obtuvimos el consentimiento informado de cada encuestado y se obtuvo la aprobación para la investigación con seres humanos del comité de ética científica de la Universidad de la Frontera. Las entrevistas fueron grabadas y almacenadas a través de un nombre en clave para asegurar el anonimato. Todas las entrevistas fueron transcritas e importadas a una matriz de Excel que

se utilizó para el análisis cualitativo. La **Tabla 1** resume describe las entrevistas mientras las preguntas principales se incluyen en el **Apéndice A.1**.

Categoría	Caracterización			Entrevistas	Personas
Entrevista actor local	Miembro de la comunidad mapuche			1	1
	Miembro de la comunidad mapuche / Gerentes de Servicios Sanitarios Rurales (SSR)			1	1
	Miembro de la comunidad mapuche y agricultor local			1	1
	Agricultor local / Emprendedor turístico / maderero sostenible			1	1
	Gerentes de Servicios Sanitarios Rurales (SSR)			1	1
	Representante de una ONG conservacionista			1	1
	Nuevos emprendedores/residentes recién llegados			1	3
Proceso participativo	Proceso participativo en el marco del diseño del plan regulador comunal en las localidades de Catripulli y Reigolil.			2	
Informante	Ministerio de Bienes Nacionales / MBN / Gabinete Ministerial			-	-
Categoría	Institución	Departamento	Acrónimo*	Entrevistas	Personas
Entrevista funcionario estatal	Municipio de Curarrehue	Oficina del alcalde	-	1	1
		Secretaría de Planificación		1	1
		Unidad de Desarrollo Local		1	1
	Gobierno regional	División de Planificación y Desarrollo Regional	GORE	1	1
	Ministerio de Medio Ambiente	Secretaría Regional	MMA	1	1
	Ministerio de Desarrollo Social.	Corporación Nacional de Desarrollo Indígena.	CONADI	1	2
	Ministerio de Agricultura	Corporación Nacional Forestal	CONAF	2	3
		Instituto de Desarrollo Agropecuario	INDAP	1	1
		Servicio Agrícola y Ganadero	SAG	1	1
	Ministerio de Economía, Fomento y Turismo.	Subsecretario de Turismo	SUBTURISMO	1	1
		Dirección Regional Servicio Nacional de Turismo	-	1	1
	Ministerio de Salud	Secretaría Regional/ Unidad de Agua	MINSAL	1	1
	Ministerio de Vivienda y Urbanismo	Secretaría Regional: Desarrollo Urbano e Infraestructura; Planes y Programas; Habitabilidad rural	MINVU	1	3
	Ministerio de Obras Públicas	Dirección General del Agua	DGA	2	2
		Dirección de obras hidráulicas	DOH	1	1

Tabla 1. Resumen de datos cualitativos

2.5. Datos y modelo Calibración

Para desarrollar el modelamiento se utilizó el paquete “lulcc 1.0.4” que adaptó el algoritmo CLUE-s (P. H. Verburg et al., 2002) al lenguaje de programación “R” (Moulds et al., 2015). Este paquete es parte del marco de Conversión de uso de suelo y sus efectos (Conversion of Land Use and its Effects, CLUE), metodología para modelar futuros cambios en el uso del suelo a partir de configuraciones pasadas y actuales (Veldkamp & Fresco, 1996; P. H. Verburg et al., 1999, 2002). CLUE simula un resultado de mapa de píxeles espacialmente explícito a partir de la interacción y competencia entre diferentes usos del suelo que están representados por diferentes valores de píxeles (colores). Como un proceso CLUE estándar desarrollado por la asignación espacial de cada píxel se realiza de forma iterativa en función de las demandas de cada uso del suelo. CLUE utiliza coeficientes beta de una regresión, suponiendo que cada píxel (i) tiene una conversión de probabilidad máxima (P_{tot}) asociados con cada uso del suelo (L_c) durante un tiempo específico (t). La probabilidad total se obtiene sumando la idoneidad de la ubicación (P_{tot,i,t,l_c}), idoneidad de la vecindad (P_{nhb,i,t,l_c}), elasticidad de conversión ($Ela_{S_{l_c}}$), y ventaja competitiva ($Comp_{t,l_c}$). El proceso se resume en la siguiente ecuación:

$$P_{tot} = P_{tot,i,t,l_c} + P_{nhb,i,t,l_c} + Ela_{S_{l_c}} + Comp_{t,l_c}$$

La metodología CLUE requiere una serie de pasos de modelado, algunos están incluidos en el algoritmo y otros se complementan con otras herramientas. El proceso de simulación desarrollado se basa en estudios en la misma línea y se describe a continuación (Manuschevich & Beier, 2016; Verburg et al., 2002; Verburg & Overmars, 2009).

Primero, se generaron mapas de cobertura para los años 2004, 2009, 2013 y 2018 utilizando imágenes de satélite Landsat con una resolución de píxeles de 30 metros. El proceso de clasificación empleó un enfoque supervisado utilizando el método de máxima verosimilitud. La precisión de los mapas de cobertura se

evaluó comparándolos con imágenes de alta resolución de Google Earth. Este proceso se basa en la metodología implementada en Zhao et al. (Zhao et al., 2016) y explicado en detalle en Gimeno et al. (Gimeno et al., 2022, pág. 3). Inicialmente, los datos de cobertura terrestre contenían 14 clases. Las coberturas de suelo de la Cuenca del Río Trancura fueron reclasificadas o mezcladas entre dos o más clases de cobertura de suelo. Como resultado se obtuvieron 8 clases de cobertura del suelo: Bosque Nativo(0); Áreas Construidas (1); Plantaciones forestales (2); Matorral (3); Pastizales (4); Árboles frutales (5); Nieve y Hielo (6); y Suelo desnudo (7). Para garantizar la compatibilidad, la resolución de los datos de cobertura terrestre se ajustó para que coincidiera con la resolución de 90 metros de los datos topográficos obtenidos de la Misión topográfica de radar del transbordador USGS (SRTM en inglés, en Farr & Kobrick, 2000). Como decisión metodológica se asume que las áreas con cuerpos de agua permanecen sin cambios a lo largo de la simulación y permanecen como valor Nulo. El proceso de simulación utilizó los mapas de coberturas de suelo de 2004 y 2018, mientras que 2009 y 2013 se utilizaron con fuentes de información y control de calidad de la simulación. Inicialmente, la clase de uso de suelo de árboles frutales se fusionó con la clase de pastizal debido a su pequeña cantidad, pero luego se separó en una clase de uso de suelo distinta según datos en las entrevistas. La identificación de áreas construidas, se ajustó en función de los comentarios de las partes interesadas. Las tasas de cambio para cada clase de suelo de 2004 a 2018 se exponen en la **Tabla 2**.

2004/2018	B. Nativo	Construido	P. Forestal	Matorral	Pradera	Frutales	Hielo/Nieve	S. Desnudo	Total 2004
B. Nativo	89199	75	384	4436	241	61	0	2	94397
Construido	0	369	0	0	0	0	0	0	369
Forestal	1959	33	213	1213	689	156	0	0	4263
Matorral	2093	104	19	12685	1715	160	0	846	17622
Pradera	528	268	24	1520	5354	727	0	2	8425
Frutales	14	15	1	8	105	163	0	0	306
Hielo/ Nieve	0	0	0	0	0	0	1609	511	2121
S. Desnudo	2	19	2	51	1	2	247	6848	7171
Total 2018	93795	883	644	19913	8104	1268	1857	8209	134672

Tabla 2. Tabulación cruzada del cambio entre las imágenes observadas de los años 2004 y 2018 en hectáreas.

En segundo lugar, el análisis espacialmente explícito es esencial para evaluar la influencia de los factores espaciales en las transiciones de la cobertura de suelo. A partir de la literatura sobre modelos (Manuschevich & Beier, 2016; Verburg & Overmars, 2009), seleccionamos factores explicativos que podrían influir en LULCC. En este estudio, utilizamos el software QGIS para preparar factores explicativos que deben alinearse con la misma extensión, resolución (90-m) y sistema de coordenadas geográficas (UTM-19S) que las coberturas de suelo. Para obtener la elevación, la pendiente y la exposición solar, utilizamos el modelo digital de elevación (DEM) del producto Shuttle Radar Topography Mission. Los datos espacialmente explícitos como carreteras, cuerpos de agua, hidrografía, geometría de parcelas, áreas protegidas, comunidades indígenas e infraestructura hídrica se obtuvieron de los repositorios geospaciales oficiales del Estado.

Luego empleamos la correlación de Spearman para evaluar las relaciones entre los factores explicativos espaciales compilados, en los que posteriormente se filtraron los factores altamente correlacionados. Para modelar las transiciones de la cobertura de suelo, se realizó inicialmente una regresión logística para cada clase de cobertura, empleando un procedimiento de selección gradual para

optimizar la inclusión/exclusión de factores explicativos. Luego empleamos el factor de inflación de varianza (VIF) para identificar y eliminar variables espaciales con valores de VIF superiores a 5, lo que indica la presencia de multicolinealidad (Gareth et al., 2021). Aunque, comúnmente para modelos predictivos de uso y cobertura de suelo se utiliza la regresión logística, optamos por utilizar el algoritmo Random Forest (bosque aleatorio) debido a su flexibilidad y naturaleza no paramétrica. A diferencia de la regresión logística, Random Forest no asume una relación lineal entre los predictores y la variable de resultado. Construye un conjunto de árboles de decisión basados en los datos, lo que permite el modelado adaptativo sin suposiciones fuertes. Para evaluar el rendimiento de los modelos, empleamos el método de características operativas del receptor (ROC siglas en inglés), que proporciona una herramienta para evaluar tanto las regresiones individuales como el modelo general (Pontius & Schneider, 2001; P. Verburg, 2006). En nuestro estudio, comparamos el rendimiento de la regresión logística y el proceso de Random Forest, y este último demostró un rendimiento superior. La **Tabla 3** proporciona información sobre los resultados del análisis de los factores espaciales.

Factor espacial	B. Nativo	Construido	P. Forestal	Matorral	Pradera	Frutales	Hielo/Nieve	S. Desnudo
Elevación (m)	-	-	-2.62E-03	-	-	-	5.96E-03	-1.04E-03
Exposición (dummy)	2.90E-03	-1.64E-03	-1.40E-03	-3.54E-03	-1.51E-03	1.73E-03	4.80E-03	-
Pendiente (grados)	3.17E-02	-4.70E-02	-1.77E-02	1.59E-03	-6.10E-02	-9.18E-01		-2.35E-02
Distancia a la red vial completa (m)	2.28E-04	-3.49E-03	-	-	-9.89E-04	-	-2.56E-05	-
Distancia a industrias forestales (m)	-	-1.31E-04	9.52E-05	-	-7.97E-05	-	-	-
Distancia a cursos de agua (m)	3.30E-04	-1.60E-03	-	-1.60E-04	-6.75E-04	-	-1.13E-04	-1.16E-04
Distancia a entidades de población (m)	-	-	-4.20E-05	-	-	-	-	-
Distancia a rutas turísticas (m)	-3.72E-05	-4.23E-06	5.90E-05	-7.67E-05	1.91E-05	-	1.08E-04	1.73E-05
Distancia a comunidades indígenas (m)	-	-	-	-	-	-1.42E-05	-	-
Distancia a los humedales (m)	-	-	-1.88E-05	-	-	-	-	-
Superficie total por parcela (ha)	6.18E-06	-2.68E-05	-6.99E-06	-3.45E-06	1.23E-06	-1.26E-05	-	-
Iniciativas privadas de conservación (dummy)	9.07E-01	-	-6.48E-01	-	1.00E+00	-		-1.12E+01
Línea de nieve (dummy)	-1.95E+00	7.97E+00	8.36E-01	-6.01E-01	1.78E+00	-	2.96E+00	2.87E+00
Densidad aparente promedio del suelo (g/cm ³)	-1.20E+01	6.90E+00	1.42E+00	5.21E+00	3.20E+00	7.88E+00	1.14E+01	1.46E+01
Áreas silvestres administradas por el estado (dummy)	2.78E-01	-7.68E-01	-6.63E-01	-	-5.45E-01	-1.68E+01	-	1.81E+00
Distancia a ruta internacional (m)	-	-	-	-	-	-	-	-
Distancia a derechos de agua consuntivos (m)	-	1.06E-04	-5.49E-04	-	-	-	-	-
Distancia a servicios de saneamiento rural (m)	-	-1.22E-03	-6.35E-03	-	-2.79E-03	-3.29E-03	-	-
ROC de Random Forest	0.9439	0.9871	0.9871	0.9078	0.9577	0.9866	0.9501	0.9963
Bosque aleatorio % Var explicado	58,26%	27,14%	26,78%	36,93%	42,61%	20,09%	62,34%	71,24%

Tabla 3. Relaciones entre factores explicativos y clases de uso de suelo y resultados evaluados con regresión logística y Random Forest. Se estimaron coeficientes de regresión logística (β) significativos para cada variable y tipo de uso de suelo. Todo el modelo se evaluó con el algoritmo Random forest. ROC, Curva de operador de respuesta del rendimiento del modelo Random Forest para cada clase de uso del suelo. El porcentaje de varianza explicada indica la capacidad del modelo para capturar y explicar la variación en cada clase de uso del suelo.

En tercer lugar, se preparan los datos no espaciales que consisten en la Demanda, Reglas de Transición y Elasticidad. CLUE necesita un área para cada clase de uso del suelo por cada unidad de tiempo, este parámetro se llama demanda de suelo, la cual es obtenida de la función “approxExtrapDemand” del paquete “lulcc” que extrapola de manera lineal las superficies a partir de las imágenes satelitales clasificadas del 2004 y 2018. Las reglas de transición consisten en matriz de transición y elasticidad de conversión. La Matriz de Transición es la regla que indica la condicionante de cambio y su tamaño está determinado por la cantidad de clases de uso del suelo, en este caso 8 x 8. Un valor de 1 permite la transición entre categorías, mientras que un valor de 0 prohíbe el cambio, esto evita transiciones poco probables, como que áreas construidas se conviertan en bosque nativo. Además, se pueden aplicar otras condiciones llamadas regla de 100 y de 1000, donde 100 (rule > 100) impone un límite temporal a las transiciones, tras el cual no se permite el cambio; y 1000 (rule > 1000) impone un periodo mínimo de tiempo antes de que se permita cambiar el uso del suelo. La Elasticidad de conversión es un valor ($0 \leq n \leq 1$) que representa la estabilidad de una clase de cobertura del suelo y se obtuvo del análisis del cambio de la cobertura del suelo entre 2014 y 2018. En esta fase, el modelo se corre de forma manual e iterativa, modificando los coeficientes de elasticidad y la matriz de transición hasta obtener el mejor resultado. No se utilizó influencia de vecindad en este modelo. La Demanda y las reglas de transición que mejor se adaptaron al proceso de calibración se incluyen en la **Tabla B 1** en el Apéndice B.

En cuarto lugar, el proceso de calibración tiene como objetivo hacer coincidir la demanda de las categorías de uso del suelo en el modelo simulado con la referencia real de un año específico, en este caso el 2018. El objetivo es lograr la convergencia, donde el modelo simulado puede asignar la misma cantidad de suelo que se demanda para cada categoría, con un error estándar promedio de ± 30 píxeles. Después de la calibración, el proceso de validación compara los mapas de cobertura observados para los 2004 y 2018 observados con el mapa

simulado de 2018. El índice Fuzzy Kappa Simulation (FKS) se utiliza para evaluar las diferencias generales y específicas entre los mapas simulados y observados. El índice FKS varía de -1 a +1, con valores negativos o cercanos a cero que indican una simulación aleatoria y 1 que indica una predicción perfecta. Como punto de referencia, los autores recomiendan un valor mínimo de FKS de $\geq 0,2$ (Van Vliet et al., 2011, 2013). En este estudio obtuvimos un valor de FKS de 0.26 y una similitud promedio de 0.91. La **Figura 3** presenta una comparación entre las imágenes observadas de 2004, 2018 y las simuladas de 2018.

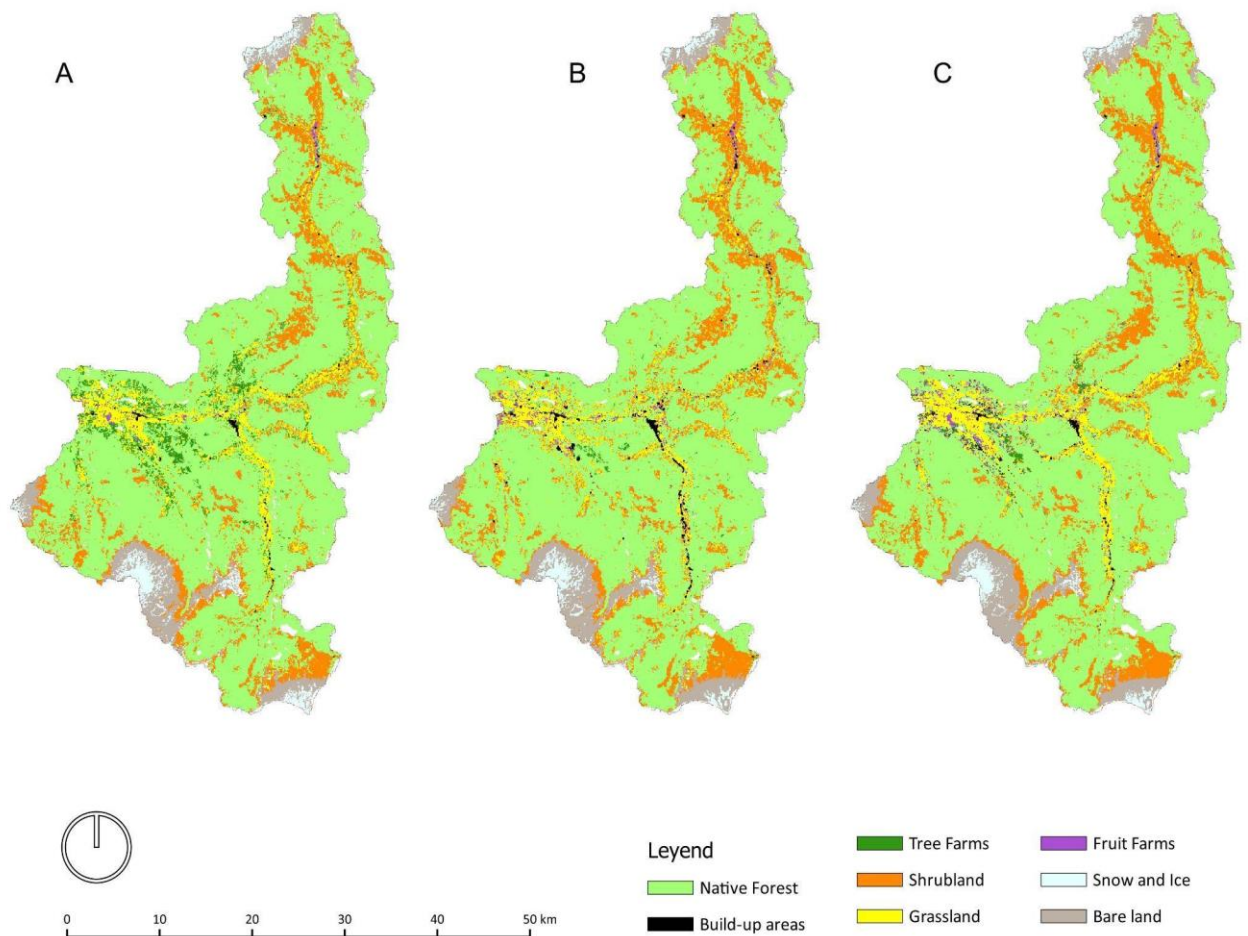


Figura 3. Imágenes observadas y resultado de la calibración. (A) Cobertura 2004 (B) Cobertura 2018. (C) Cobertura simulada 2018.

2.6. Traducir datos cualitativos en el modelo

La traducción de datos cualitativos a modelos cuantitativos ha sido reconocida como un aspecto débil del proceso de simulación de escenarios (Alcamo, 2008). Booth et al. (Booth et al., 2016) propusieron una solución en la que enfatizan la importancia de definir claramente los criterios para garantizar la transparencia en el proceso de traducción. El primer criterio implica combinar la participación con reglas cuantitativas basadas en trabajo de escritorio con información cuantitativa disponible para complementar los relatos (Palacios-Agundez et al., 2015; Booth et al., 2016). El segundo criterio aborda las discrepancias y la accesibilidad limitada a datos cuantitativos, para lo cual se hacen suposiciones basadas en la información recopilada de las entrevistas (Booth et al., 2016). El tercer criterio enfatiza un proceso de traducción claro y transparente (Palacios-Agundez et al., 2015). Los criterios asociados a cada clase de uso del suelo se describen a continuación.

Las áreas construidas se cuantifican utilizando datos mixtos de 3 fuentes. Primero, extrajimos huellas de edificios de imágenes ráster de Google Earth en 2022. Para homologarlos con los mapas de cobertura el re-muestreo a píxeles de 90-m consistió en identificar áreas donde los edificios representaban el 30% o más del área total. Segundo, incorporamos la ampliación urbana proyectada por el Plan Regulador Municipal. Finalmente, se considera un crecimiento de áreas construidas basada en información de subdivisión de propiedades rurales. Para esto, se asume la proliferación de segundas viviendas en lotes menores o iguales a media hectárea, permiten a los propietarios construir hasta el 10% de la parcela, sumado a otras estructuras y caminos que amplían la cobertura de construcción hasta el 30 %. Si bien, los caminos podrían ser considerados en la categoría Suelo Desnudo, debido a su asociación y escala, cuando asociados a una segunda vivienda, se consideraron parte de las Áreas Construidas.

Bosque Nativo, asumimos un parámetro de proceso sucesional de cambio utilizado en trabajos previos en la región de la Araucanía (CONAF et al., 2009;

Manushevich & Beier, 2016). Los nuevos píxeles de bosque nativo surgen principalmente de la vegetación arbustiva. La demanda máxima de Bosque Nativo se determinó en un 1% por encima de la mayor superficie obtenida en los datos de cobertura del suelo de 2009. La demanda mínima representa una proyección de la pérdida de bosques nativos en áreas de alta demanda, transformándose en matorrales debido a la degradación o potencialmente reemplazados por actividades de monocultivo como Plantaciones Forestales y Frutales.

Los matorrales pueden pasar fácilmente a pastizales, áreas urbanizadas, granjas de árboles o granjas de frutas. También significa abandono rural. La cantidad de matorral se determina como intercambio en cada escenario. Si hay recuperación forestal, el matorral disminuye, pero si la matriz laboral cambia de prácticas agrícolas tradicionales a áreas de servicio, el matorral aumenta para cubrir pastizales.

Los pastizales representan prácticas agrícolas y ganaderas tradicionales, alcanzan la capacidad máxima según los registros en los mapas de cobertura del suelo. Esto es, se superpusieron y sumaron las áreas de pastizales de los mapas de cobertura para determinar el máximo. En el mínimo el área de pastizal se redujo a la mitad.

El aumento de las explotaciones frutícolas se justifica por la creencia de las partes interesadas de que esta forma de producción industrial está creciendo y las recientes apariciones de avellanos europeos detectadas en el censo agrícola respaldan aún más esta tendencia (INE, 2021). El incremento de Frutales se cuantifica con base en un documento difundido por el Gobierno Regional de la Región de la Araucanía, en el que se destaca el programa Desarrollo de Polos de Innovación Frutícola (INIA, 2021). Específicamente, el área cercana a la cuenca experimentó un aumento del 363 % en el cultivo de avellanos entre 2007 y 2019.

La variación de Plantaciones Forestales se llevó a cabo considerando las descripciones de los participantes sobre actividades de Forestales en el pasado. Asumimos que el aumento de esta categoría se basa en que su gestión constituye un enfoque productivo estandarizado con restricciones limitadas en la expansión. La demanda mínima implica una reducción de la superficie de las plantaciones justificada en la tendencia observada entre 2004 y 2018; y la máxima corresponde al retorno de la superficie observada en 2004.

Se encontró que el suelo desnudo y las superficies de Hielo y nieve permanecieron consistentes en todos los escenarios, ya que no se identificaron factores de cambio significativos asociadas a la gestión en la revisión de la literatura o en las entrevistas.

2.7. Modelamiento de escenarios

El modelamiento de escenarios constituye el proceso final que vincula el ámbito cualitativo de entrevistas mediante la traducción a datos cuantitativos y la simulación del cambio. Es importante recalcar que en el proceso de calibración CLUE almacena información estadística a partir del análisis espacial que se basa en tasas de cambio observadas, la cual conforma una base de entrenamiento para probar diferentes parámetros, es decir, la demanda y reglas de transición.

El procedimiento inicial para el modelamiento de escenarios al año 2050 fue construir un escenario tendencial o “Business-As-Usual” (B-A-U). En este escenario de referencia, las reglas de transición se mantienen a partir del resultado de la calibración (2004 - 2018) y la demanda se obtiene a través de un análisis Cadena de Markov al 2050. Utilizamos el módulo MARKOV del programa TerrSet para calcular las probabilidades de transición y estimar la demanda de suelo según los mapas de cobertura de 2 periodos (Eastman, 2016). Dado que la cadena de Markov se basa en gran medida en datos anteriores, su comportamiento tendencial sirve como base para establecer un modelo de cambio de suelo basado en la demanda, que permitió informar el desarrollo de

otros escenarios. La matriz de probabilidad de transición se obtuvo superponiendo los mapas de 2004 y 2018 (**Tabla B 2**). Luego, la demanda se obtiene especificando la fecha de predicción final. La **Tabla 4** compara las superficies de los años 2004 y 2018 con la demanda obtenida para 2050 y la **Figura 4** grafica la tendencia de la demanda al 2050.

Uso del suelo	Observado 2004	Observado 2018	B-A-U 2050
B. Nativo	94466	93642	89668
Construido	379	888	1964
Forestal	4270	666	420
Matorral	17835	20017	21039
Pradera	8436	8103	7902
Frutales	330	1267	2002
Nieve y hielo	2139	1878	1549
S. Desnudo	7274	8669	10153

Tabla 4. Cuadro comparativo de superficie de uso del suelo por clase en hectáreas.

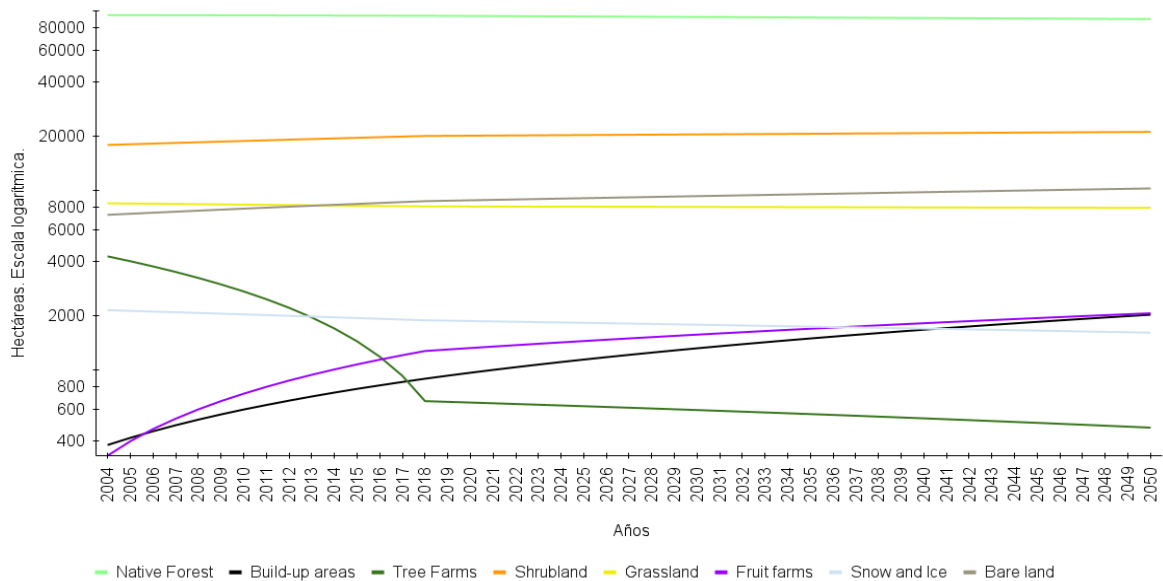


Figura 4. Gráfico de líneas del cambio en la demanda por clase de uso de suelo del 2004 al 2050.

El escenario BAU se utiliza como base estadística para construir los demás escenarios. A partir de aquí, el proceso de modelamiento de uso del suelo se

involucra en la traducción de escenarios narrativos en parámetros de demanda, elasticidad y transiciones que varían según las características específicas del escenario. La calibración del modelo de 2004 a 2018 se extiende luego a 2050 utilizando las reglas de transición y las demandas específicas de cada escenario que se describen en el Apéndice B, en **Tabla B 3**, **Tabla B 4** y **Tabla B 5**.

3. RESULTADOS

3.1. La ausencia de planificación espacial

El resultado principal y contextualmente relevante fue la confirmación transversal de los entrevistados en vista de los conflictos por el uso del suelo, es urgente desarrollar instrumentos de planificación normativa. En este sentido un funcionario municipal destacó que:

“Hay una falta total de planes, de instrumentos, de planificación territorial. Entonces, en realidad, trabajamos solos. Sí, no hay [instrumento de planificación] intermunicipal, no hay nada”.

Esta misma situación se constató durante el trabajo de campo en una actividad consistente en un proceso participativo del Plan Regulador del Municipio (PRC). Tres localidades fueron incluidas en el proceso por su "vocación urbana" producto del importante crecimiento demográfico y por problemáticas relacionadas con la provisión y saneamiento de agua. Entre las localidades se encuentra la actual área urbana, Curarrehue, que tiene la condición jurídica de límite urbano, el instrumento más básico de ordenamiento territorial. Las otras dos localidades son Catripulli y Reigolil, que actualmente están catalogadas como zonas rurales. En la actividad los participantes de ambas zonas rurales expresaron su reticencia a la implementación del PRC y plantearon preocupaciones sobre varios aspectos que van más allá de los límites urbanos, como la intensificación de las parcelaciones para segunda vivienda, la pertenencia territorial histórica y cultural de las comunidades indígenas, la escasez de agua, el cambio climático, entre

otros. Esto se explica en parte porque el PRC en Chile se enfoca únicamente en áreas urbanas y carece de la capacidad para abordar de manera efectiva los problemas rurales. En la misma línea, un funcionario de CONAF preocupado por los reclamos por pérdida de bosques nativos:

“Al final lo que nos mata es la ausencia de instrumentos de planificación, o sea, el plan regulador de acá de la zona. El tema de los planes regionales de ordenamiento territorial que no salen es lo que está permitiendo, digamos que este chorreo de situaciones se ve de forma esporádica, no de forma controlada. O sea, pensando en que los distintos usos, las distintas demandas que tiene el territorio sean coincidentes, que pueden darse ojalá a todas estas cosas. Pero en el margen de una sustentabilidad territorial, esa es la ausencia digamos. Es como un diagnóstico de la zona lacustre”.

Según un funcionario del GORE, aunque se espera que el próximo Plan Regional de Ordenamiento del Territorio proporcione un marco para la zonificación del uso del suelo, aún existe incertidumbre con respecto a su aplicación y sugiere que un Plan Regulador Intermunicipal sería un enfoque más adecuado. Sin embargo, funcionarios del MMA y del MINVU destacan los importantes desafíos y el prolongado retraso en la concreción del plan intermunicipal Villarrica-Pucón, que lleva estancado aproximadamente 10 años. Por separado concuerdan que la demora prolongada ha dejado obsoleto el plan y ya no es relevante. Las dificultades y la demora en la implementación de los instrumentos relacionados con el uso del suelo forman un bucle de falta de gestión eficaz. En este contexto, un funcionario del Gobierno Regional (GORE) destaca que la ordenación del suelo no está alineada con el modelo económico existente, esto es que en el momento de planificar se priorizan los objetivos económicos por sobre el suelo. Esta priorización se refleja en el proyecto de inversión regional preliminar anual y la Estrategia de Desarrollo Regional, que se centran en los aspectos económicos en lugar de la planificación espacial. Mientras tanto, la gestión del Estado a través

de su estructura sectorial tiene efectos específicos y distintivos sobre el suelo, lo que resulta en resultados inciertos.

3.2. Políticas nacionales re-escaladas y estado segmentado

En esta sección presentamos los resultados que relacionan el re-escalamiento de políticas y procesos institucionales y el uso de suelo en el área de estudio. Identificamos tres factores clave que influyen en el cambio de uso del suelo: el enfoque centralizado del Estado, la voluntad política de actuar y la comunicación entre instituciones. Estos elementos juegan un papel importante en la configuración de la dinámica del uso del suelo en la región. En el sector agropecuario, la gestión del Estado juega un papel vital en la Cuenca Trancura, siendo una de las primeras actividades en alterar significativamente la cobertura del suelo. En este sentido, el INDAP es una de las instituciones más relevantes del área de estudio debido a la gran cantidad de población rural. A modo ilustrativo, los beneficiarios del área de Curarrehue, en el distrito que incluye a Pucón tanto como Curarrehue, comprenden el 70% del total y reciben el 65% del financiamiento. Sin embargo, esta institución es percibida como altamente burocrática, en la práctica sus atribuciones y procedimientos generan tensiones. En este contexto, un funcionario del municipio destaca las dificultades que se encuentran al colaborar con INDAP ya que “tiene sus reglas, tiene sus normativas y no se salen de ahí”. Además, resaltó los obstáculos que enfrentan debido a la condición rural y aislada de la cuenca, lo cual refleja la gestión inadecuada del estado en que “políticas que elaboran personas que están en Santiago sentadas detrás de un escritorio y que creen que todo es como Santiago, y no lo es. Las reglas son iguales para todos y no hay visión territorial alguna”. En este sentido, incluso cuando los agricultores reciben subsidios, no pueden crecer debido a muchas limitaciones. Por ejemplo, “si alguien quiere tener una huerta de regadío, no puede (...) porque no tiene derechos de agua. (...) todos creen que nos bañamos en agua todos los días”. En ese sentido, percibieron a las instituciones del Estado como contradictorias y mal comunicadas.

Asimismo, los funcionarios de CONAF reconocen un desafío relacionado con la naturaleza centralizada del Estado. Destacan el caso del Parque Nacional Villarrica que ha sido priorizado para el desarrollo turístico en conjunto con la creación de la Subsecretaría de Turismo. Esto significa que todos los proyectos públicos, incluidos los centros de esquí, campamentos y albergues, están sujetos a la evaluación de un comité interministerial a nivel central. Los funcionarios expresan su preocupación de que este nuevo actor institucional disminuya significativamente su participación en el proceso de toma de decisiones. En este contexto, los funcionarios enfatizan que CONAF carece de autoridad suficiente. Debido a su naturaleza híbrida como entidad privada bajo control estatal plantea desafíos únicos en términos de prácticas de gestión. Cuando se trata de conservar bosques dentro y fuera de áreas protegidas, el Estado cuenta con la gestión de CONAF, ya que tiene facultades públicas específicas. En este sentido, uno de los guardaparques señala que “empezaría diciendo que no existimos”. Continúan destacando que si bien existen propuestas para transformar a CONAF en una entidad pública, permitiendo que sus miembros operen como funcionarios públicos, la implementación es una cuestión de voluntad política de los tomadores de decisiones.

Los guardaparques se describen a sí mismos como “maestros chasquilla”, ya que deben limpiar los baños, limpiar los senderos, reparar, construir, fabricar paneles interpretativos, investigar la vida silvestre a través del monitoreo de cámaras trampa, educación ambiental. Debido a la gran carga de trabajo, la escasez de guardaparques, y la autoridad limitada, el monitoreo efectivo del bosque se convierte en una tarea casi imposible. Esto tiene implicaciones significativas cuando las tareas se extienden más allá de los límites de las áreas protegidas. Los subsidios para la construcción de senderos para los propietarios de bosques nativos pueden resultar en la expansión de las actividades humanas en el interior de los parques, perturbando el equilibrio natural de las plantas y los animales. Se han observado individuos ingresando al parque en motocicletas con sus

mascotas o ganado en áreas designadas como bosque primitivo. Además, CONAF es responsable de revisar los requisitos del plan de manejo relacionados con la tala de bosques nativos para proyectos en propiedad privada como construcciones de vivienda. Sin embargo, su limitada capacidad para monitorear tanto la tala legal como la ilegal se vuelve más problemática cuando estos proyectos están ubicados cerca de los límites del parque. Un guardaparques de CONAF señala:

“Ya entonces hoy día todavía existen políticas públicas que siguen fomentando la deforestación, los cambios de uso de suelo y eso lamentablemente es dentro de nuestra propia institución. Ya hay mucha parcelación en el territorio, entonces, el segundo uso es de vivienda dentro del territorio. A nosotros nos afecta directamente, cada vez que se autoriza una parcelación de un predio colindante pasamos de tener un vecino a 70 vecinos. Entonces, eso implica la construcción de caminos, implica la llegada de especies exóticas e implica un montón de cosas que son una de las principales amenazas que nos hemos planteado. Y esto es a través de una política pública que incentiva la llegada de personas al territorio”. Los funcionarios de CONAF están preocupados por los límites de las áreas protegidas y señalan que el bosque va a cambiar, “el escenario es negativo, es complejo. Tú puedes conservar el bosque, puedes no cortar un árbol más, pero si cada una de esas familias llega con un perro, con un gato, ya empiezan a comerse a los polinizadores del bosque, ya empiezan a consumir pajaritos., empiezan a enfermar a los zorritos, y empieza a desencadenarse una serie de situaciones que afectan a los servicios ecosistémicos que prestan estos ambientes. Ya. O sea, el escenario que yo veo es que hay una degradación en los servicios ecosistémicos que se dan acá por, acá osea podemos tener un esqueleto bonito y con estructura, con funcionalidad, pero que lamentablemente va a ir erosionando por dentro. Ya vamos a tener pérdida de especies hoy día, no solo las invasiones biológicas que tenemos de visón, de jabalí, de perro, de gato.

Se están comiendo a la fauna nativa. Cada vez cuesta más encontrar especies que antes eran más avistables como el pudú, que son muy importantes para el ecosistema, digamos, para la regeneración del bosque nativo.”

Mientras desarrollamos esta investigación, los guardaparques de casi todos los Parques administrados por el Estado en Chile se levantaron en huelga debido a las precarias condiciones laborales, los bajos salarios, la falta de equipos e infraestructura (El Mostrador, 2022).

Relacionado, con esto, pero percibido como un resultado positivo de las decisiones centrales es la promulgación de la Circular 475 (MINAGRI, 2002) , que introdujo un conjunto de nuevas limitaciones al procedimiento descrito por el DL 3,516 (MINAGRI, 1980) destinadas a evitar que la subdivisión rural se convierta en proyectos inmobiliarios. Esta Circular ha generado polémica y dio lugar a una respuesta legal en curso por parte de la industria inmobiliaria (Munita, 2022a, 2022b). Según funcionarios del SAG, estos cambios representan una mejora significativa ya que abordan temas críticos para “mitigar un poco los impactos de las subdivisiones que han sido muy explosivas”. Antes de la Circular 475, el SAG servía principalmente como organismo técnico para la revisión planimétrica y la mayoría de los expedientes de subdivisión se aprobaban sin escrutinio. En cambio, ahora el análisis toma un enfoque más integral, considerando varios aspectos e involucrando otras instituciones en la supervisión como para evaluar la intencionalidad de los proyectos. Sin embargo, los funcionarios del SAG señalan que en el área de estudio un tema crítico que debe abordarse es el impacto del desarrollo inmobiliario en suelos agrícolas, no solo el bosque que se ve afectado, sino también suelos agrícolas de alta calidad. Esto es particularmente preocupante en el área de estudio, donde el suelo para cultivo es limitado.

A nivel nacional, funcionarios de la Subsecretaría de Turismo explican que el área que comprende la Zona de Interés Turístico (ZOIT) atrae turistas durante todo el año y puede presentar riesgos para el ecosistema. Los funcionarios reconocen la

importancia de evaluar la capacidad de carga del área y destacan el compromiso del actual gobierno con la protección del medio ambiente y las prácticas sostenibles. Por el contrario, la creciente industria del turismo se reconoce como un cambio significativo en la economía local, creando oportunidades de empleo en el sector de servicios. Funcionarios del SAG y del INDAP entrevistados temen que se esté priorizando el turismo sobre la agricultura, lo que puede tener consecuencias negativas para las prácticas de autoconsumo. Un actor local compartió un ejemplo durante una entrevista para resaltar esta preocupación.

"La señora Juanita ha sembrado papas toda su vida, ya toda su vida sembrado papa. Pero hoy día viene otro tour operador y le dice Sra. Juanita, hay gente de Santiago, que le gustaría ver cómo usted planta su papa. Ya y la Sra. Juanita les va a mostrar. Al segundo año la Sra. Juanita va a ver que el turista le deja dos sacos de papa en plata en solamente una hora de charla. Al tercer año la Sra. Juanita se va a dar cuenta que le sale mucho más rentable vivir del turismo solamente que sembrar papa. Y eso es algo que no se tiene que perder de objetivo acá, es decir, cambiar alguna forma de vida por agrandar o por hacer turismo".

En el proceso de entrevistas descubrimos que la dinámica de gestión del agua en la cuenca influyó activamente en el cambio de uso de suelo. Las entrevistas revelan que el déficit de agua (96%) se ha mantenido sin cambios desde 2002, con un porcentaje de población que depende de los camiones cisterna durante la temporada alta de verano. Además, el sistema de alcantarillado presenta un problema importante ya que Curarrehue urbano descarga el 100% de sus aguas residuales sin tratar en siete puntos al río Trancura. En ese contexto, desde el municipio destacan que "la primera etapa de la gestión local de agua que es agua potable, pero esto sigue con la segunda fase que tenemos que iniciar ahora, que es agua para actividades productiva, ya no agua potable, sino agua para actividades productivas, que es muy importante porque todos los rubros con

seres vivos necesitan agua. O sea, la apicultura, la agricultura, la ganadería mayor menor, los servicios turísticos.”

En este contexto, describen a la DOH como responsable de la interrupción de sus proyectos. Mientras funcionarios de la DOH reconocen que el municipio de Curarrehue enfrenta casos particularmente complejos, y las demoras se atribuyen a razones como problemas de diseño, cambios en los requisitos del proyecto por aumento en la demanda y sumarios administrativos. Para abordar estas preocupaciones, los funcionarios municipales establecieron una unidad local de gestión del agua. Aunque tienen un poder limitado para abordar los problemas locales del agua a gran escala, proporcionan subsidios para proyectos relacionados con el agua. Esto en parte se hace necesario porque la escasez de agua ha creado dificultades, incluida la necesidad de nuevos sistemas de riego que antes eran innecesarios. Además, acceder a los permisos de agua para los empresarios locales es un proceso desafiante y costoso, en particular para las empresas emergentes en el sector de la economía de montaña. El MINSAL requiere una documentación extensa, que puede ser una carga financiera para las pequeñas empresas. Por el contrario, para proyectos inmobiliarios, el costo de desarrollar sistemas particulares de agua se considera menor en comparación con las operaciones generales. A pesar de tener noción de los potenciales efectos de los proyectos inmobiliarios, funcionarios del MINSAL afirmaron que, si cumplen con los criterios necesarios, generalmente son aprobados.

Otro obstáculo importante para los proyectos que requieren agua es la distribución desigual de los derechos de agua, que está regulada por la DGA. En la cuenca, este desequilibrio se manifiesta en que ciertos propietarios tienen abundantes recursos hídricos consuntivos, mientras que los Servicios Sanitarios Rurales (SSR), responsables del suministro de agua a la comunidad, luchan por asegurar derechos de agua adecuados. Un administrador de un comité de SSR mencionó las dificultades que enfrentaron para adquirir los derechos de agua, las

cuales se resolvieron con la donación de un vecino. Los funcionarios relacionados con el agua son conscientes de los problemas de gestión existentes y hay optimismo con respecto al potencial de la nueva reforma del código de agua (Ley 21435, 2021) para abordar estos desafíos. Los funcionarios destacan un cambio clave en la reforma es que los derechos de agua que no se declaran dentro de 5 a 10 años pueden ser reclamados por el Estado para su redistribución.

Finalmente, CONADI es de gran relevancia para el cambio de uso de suelo y su gestión presenta grandes desafíos. Según lo expresado por un funcionario, uno de los problemas clave donde se evidencian es en la forma en que el Estado se dirige a las comunidades indígenas.

“Lo que pasa es que aquí hay servicios, la CONAF ve el Bosque, La Dirección General de Agua ve el Agua. Eres empleado de Hidráulica de la Defensa de los Ríos y a nosotros nos toca ver el medio humano que se relaciona con el bosque, con el agua y con la ribera del río. Entonces, es complejo porque la división de lo de los servicios, mucha teoría de sistemas y la versión de nosotros debiera ser más holística”.

Además, los funcionarios señalan que una de las mayores dificultades para ejercer su cargo es que, la noción de que los pueblos indígenas tienen derechos es nueva. Entonces otras instituciones del Estado lo ven como un proceso que requiere tiempo y dinero. Si bien su trabajo busca asegurar el desarrollo de las comunidades indígenas, CONADI es una institución pequeña, por lo que dependen del compromiso de todo el Estado para actuar de manera transversal. Ven que cuando el Estado y las comunidades indígenas tienen objetivos contrapuestos, el primero considera la situación como imposible de superar, en lugar de fomentar una mayor participación y un diálogo continuo.

A pesar de la naturaleza objetiva de las instituciones y el proceso legal, los funcionarios reconocen que los procesos políticos, como los cambios en el liderazgo institucional, pueden influir en la agenda del proyecto. Un funcionario

del sector de gestión del agua destacó que la mejora de la comunicación con otras instituciones demuestra un fuerte liderazgo con voluntad política. Dado que el proceso burocrático para implementar un proyecto de inversión pública involucra múltiples instituciones interdependientes, la aprobación de cada institución es esencial para que el proyecto avance. Sin embargo, la comunicación entre estas instituciones no es obligatoria dentro del proceso regulatorio y depende de la buena voluntad de los funcionarios.

3.3. Actores socioeconómicos de la cuenca

En esta sección, describimos la influencia de actores externos al aparato estatal. Estos actores, aunque no forman parte formalmente del estado, tienen un impacto significativo en su funcionamiento. Surgen conflictos y sinergias entre estos actores y el Estado estableciendo formas de gestión que se evidencian en la práctica. Esto destaca la naturaleza dinámica de las interacciones entre los actores externos y el aparato institucional. También encontramos que ciertos actores ejercen alta presión, limitando la autonomía de la gestión estatal y forzando la aceptación de los cambios. Por otro lado, otras actividades son acogidas e integradas al sistema de gestión institucional.

En el contexto de la agricultura, los participantes percibieron un conflicto entre la producción industrial y la agricultura familiar de pequeña escala para autoconsumo y venta de excedentes. Por un lado, funcionarios municipales detectaron que durante la pandemia casi el 90% de las personas que vivían en zonas rurales tenían huertas para autoconsumo. Destacan que sus agricultores operan con presupuestos pequeños, impulsados por su amor por la agricultura y la adherencia a prácticas sostenibles. El Municipio apoya a los emprendedores brindándoles apoyo para el desarrollo de proyectos y servicios de consultoría. Priorizan el desarrollo de la economía de montaña, con foco en la agricultura familiar dedicada al autoconsumo, la venta de excedentes y la apicultura agroecológica. Funcionarios del SAG e INDAP destacan la importancia de la pequeña agricultura para el consumo local. Les preocupa la posible pérdida de

tierras agrícolas y la subsiguiente dependencia de las importaciones, lo que conduciría a precios más altos de las hortalizas. Por otro lado, los funcionarios del municipio y los agricultores entrevistados están en contra de la producción industrial asociadas al monocultivo de plantaciones forestales y árboles frutales. Este uso del suelo es percibido como una actividad foránea y peligrosa asociada con la fertilización química, produciendo contaminación del agua y de otros cultivos. Ahora bien, la plausibilidad del aumento de superficie de árboles frutales tiene visiones encontradas. Por un lado, el municipio considera limitada la disponibilidad de suelo apto para el monocultivo de árboles frutales y espera un crecimiento mínimo. Por el contrario, algunos pobladores creen que la escasez de agua en las localidades de los valles bajos impulsará la expansión de la fruticultura hacia el área montañosa de Trancura, perturbando las expectativas agroecológicas. Mientras que, la superficie de plantaciones forestales asociadas a pinos y eucaliptos difiere de la tendencia regional, la cuenca ha visto una disminución significativa con respecto al pasado maderero y a las imágenes satelitales del 2004. Esto es percibido como un logro local y un retorno a esa configuración sería negativo.

A nivel de Municipio es donde se construye la tensión en torno al turismo, la actual administración percibe las prácticas turísticas de Villarrica y Pucón como una actividad industrial nefasta. Según un funcionario, están trabajando para construir la primera ordenanza turística municipal para tratar de ordenar este problema, de esta manera están “estamos comenzando principalmente con todo lo que es turismo aventura, que es lo que más nos afecta a nosotros, porque desde Pucón, Villarrica y otras partes viene mucha gente, ya, muchas empresas, mucho tour operadores, que no cumplen con la norma, que no pagan ningún servicio”. Perciben que la falta de una planificación turística adecuada ha llevado al consumo de recursos y perturbaciones del ecosistema. Las perspectivas sobre el turismo también son distintas. Mientras, algunos participantes entrevistados

sienten que instituciones como SERNATUR pueden no entender completamente sus perspectivas. Por otro lado, prácticas tradicionales como la ganadería y la deforestación se han desplazado por el turismo, contribuyendo a la recuperación de ciertas áreas dañadas de bosque nativo. En ese sentido, funcionarios de CONAF aseguran que “hay que considerarlo rescatando que no es malo lo que se está haciendo con el turismo. ¿Hay que hacerlo bien no?”

Una de las actividades más mencionadas de forma generalizada en la mayoría de las entrevistas es la subdivisión del suelo rural para segunda vivienda. Actualmente, la mayoría de los proyectos presentados a la SAG provincial se encuentran bajo el alcance del decreto 3.516, representando el 90% del total de expedientes en el Área de Recursos Naturales. Uno de los funcionarios del municipio señala que:

“Hay una cuenca que está plagada y uno de los loteos de 800 parcelas, en la Cuenca Cabedaña. Sí, mira, yo no sé, si no hay una medida urgente, desde luego estatal, que detenga el tema de los loteos, vamos a tener una versión de Isla de Maipo, pero montañosa. [Isla de Maipo, es municipio de la zona central de Chile conocido por sus subdivisiones rurales”

La Circular 475 prevé una mejor fiscalización para rechazar proyectos, sin embargo, funcionarios de la SAG sugieren que hay asuntos pendientes y la industria inmobiliaria se adaptará “porque es un muy buen negocio y como cualquier negocio, mientras haya dinero de por medio, y genere bastante rentabilidad, siempre va a estar presente”. En consecuencia, la construcción continua de viviendas, los edificios de apoyo (p. ej., bodegas) y las prácticas cotidianas, como la recolección de leña para calefacción y mascotas, pueden causar daños al ecosistema forestal. Funcionarios de la SAG y CONAF también afirman que no existen limitaciones físicas para la asignación de estos proyectos, ya que pueden estar ubicados en la proximidad de parques nacionales e incluso en pendientes pronunciadas. CONAF tiene la autoridad para solicitar permisos para la tala de bosques nativos, pero en la práctica, esto rara vez lo cumplen los

propietarios de las tierras, y las actividades de tala a menudo se llevan a cabo de manera informal.

En este contexto, un representante de una de las ONG con fines de conservación expresa preocupación por la subdivisión de predios rurales y su impacto en los ecosistemas de bosque nativo. Observa que los recién llegados de las ciudades a menudo carecen del conocimiento de la vida rural y continúan los estilos de vida de la ciudad en el campo, lo que resulta a menudo conducen a la tala de bosques nativos y la tenencia irresponsable de mascotas que representa una amenaza para el ecosistema. El representante también destaca el mal uso de un mecanismo legal de conservación privada. Los "derechos reales de conservación" (DRC) son utilizados por algunos proyectos inmobiliarios como una estrategia de marketing, en los que los registros tienen una duración limitada, lo que lleva a la posibilidad de ser vendidos para vivienda después de atraer compradores ambientalmente conscientes.

Relacionado con lo anterior según un funcionario de la SAG, es común que los pobladores rurales, formen comunidades de vivienda. El Ministerio de Bienes Nacionales juega un papel fundamental en la gestión del fraccionamiento a través de la implementación del decreto ley 2,695. Esta ley resuelve casos históricos de tenencia irregular, tales como bienes heredados o terrenos obtenidos por medios fraudulentos. En respuesta a las perturbaciones del ecosistema provocadas por la densificación, la actual administración del ministerio está cambiando su enfoque hacia la sostenibilidad del suelo y la promoción del concepto de "buen vivir". rechazando la mayoría de los permisos, ya que pueden afectar los ecosistemas.

Las comunidades mapuche son un actor relevante y han sido ampliamente reconocidas por los participantes entrevistados. Funcionarios municipales destacaron que "las juntas de vecinos no son nada, pero, la comunidad indígena, es, yo diría que es la base de la organización en el territorio". En este contexto, CONAF ha colaborado históricamente con ellos a través de un panel de

gobernanza, y los funcionarios los reconocen como uno de los actores más importantes en la gestión de los parques de la cuenca. Asimismo, según un funcionario de SERNATUR, la falta de consulta indígena ha llevado a la cancelación de proyectos incluso en etapas avanzadas. Por ejemplo, cien comunidades mapuche pararon exitosamente un proyecto turístico en el Parque Nacional Villarrica, por falta de consulta. Los funcionarios del MINVU creen que es importante realizar una consulta indígena cada vez que las comunidades indígenas estén presentes en el territorio. Sin embargo, los participantes mapuche entrevistados perciben una diferencia fundamental entre sus perspectivas y el Estado.

“Si es algo simple, cómo convivimos nosotros, con cómo logramos entender al árbol, cómo logramos entender a los distintos bichitos que están en los distintos espacios y cómo también los respetamos. Sí ahí está, sí son cosas como tan mínimas, tan básicas que bueno, ustedes desde la Academia lo estudian, ven su desarrollo, pero nosotros desde nuestra mirada, desde la Cosmovisión, nosotros decimos si ellos han existido siempre, si siempre han estado ahí, ya no es que lo estemos descubriendo, si están ahí, si lo único que pedimos es respetarlos nada más que eso, respeto, sí, si no estamos pidiendo que hagan una ley especial, no, respetenlo. Y eso a veces no se logra entender que, para nosotros, hay harta cosa, que por eso nosotros con el Estado a lo mejor vamos a tener siempre grandes diferencias. Pero yo creo que es de entendimiento de mirar las cosas, porque por ejemplo nosotros miramos el agua como un bien común, para nosotros el agua es vida. Y hay otros que no lo ven así, el agua genera plata, porque el agua, es negocio y todo.”

3.4. Escenario narrativos

Los resultados descritos en la sección anterior definen las bases que enmarcan la actual ordenación territorial del Estado y su contexto socioeconómico para diseñar los escenarios. Este proceso fue necesario ya que conectó la gestión

específica del sitio con las clases de uso del suelo en el proceso de calibración. Asimismo, el conjunto de preguntas tenía como objetivo elaborar escenarios que los participantes ven como plausibles y establecer diferentes configuraciones de lo que podría suceder desde el punto de vista de los participantes. La conexión de esta sección parte de las características de gestión de cada institución y los conceptos generales identificados. En consecuencia, la interacción de los escenarios está determinada por las capacidades de gestión; presupuestos; voluntad política; ligado nacional o localmente; comunicación entre instituciones y conflictos. Estos se agrupan en 3 escenarios en los que se consideran cambios de distintos usos de suelo a partir de una narrativa que unifica y justifica las compensaciones de cambio. La **Tabla 5** resume la conexión entre narrativas, cambios en la gestión y las dinámicas de transición.

3.4.1. Agroecología

Este escenario se construye a partir de las expectativas identificadas de volver a un pasado agrícola rural. De esta forma, se relaciona con la importancia de la agricultura a pequeña escala para el autoconsumo y venta de excedentes detectada y apoyada por instituciones relacionadas con la agricultura. También reconoce que el desarrollo de la pequeña agricultura es fundamental para la autonomía de la cuenca y para la resistencia a futuras crisis. Al respecto la Municipalidad, INDAP y un agricultor sustentan su plausibilidad en un pasado de diversidad agrícola que consistía en hortalizas, cereales y ganadería. Para que esto ocurra, depende del aumento del presupuesto de incentivos agrícolas a las prácticas agroecológicas y ajustes en la gestión actual. En esta línea, la producción agroecológica es interdependiente con el bosque nativo y matorral porque necesita la biodiversidad del ecosistema para sostenerse. En este escenario, el enfoque político del municipio sigue siendo el mismo y CONAF recibe más recursos presupuestarios y atribuciones de gestión. También, no descarta por completo el turismo, sino que promueve su integración con las actividades agrícolas locales a pequeña escala y orientación ecológica educativa,

enfaticando la importancia de la relevancia local. En este sentido, también se permiten prácticas sostenibles de manejo del bosque nativo. Estas actividades económicas, se asocian con el desbloqueo de los proyectos de suministro de agua y alcantarillado. Las subdivisiones rurales solo están permitidas lejos de los bordes de las áreas protegidas y están prohibidas en los corredores ecológicos debido a una estrecha colaboración entre el MMA, CONAF, CONADI, MINVU y SAG. Las comunidades mapuche en su rol de actores territoriales fuertes defienden estas perspectivas. Finalmente, los niveles nacionales y regionales adaptan su desarrollo económico a este entorno a través de una institucionalidad local empoderada. Este escenario se sintetiza en las palabras de un funcionario del Municipio de la siguiente manera:

“Esa es la apuesta futura, esto es, el buen vivir. Yo creo que en el fondo eso son conceptos culturales Mapuche. Y el buen vivir tiene que ver con esa armonía, con la armonía con el entorno, con el respeto por eso que llamamos en el Wingka femün, la biodiversidad, cuando en el mapudungun llamamos Itrofill Mogen. Todo lo que existe, hasta lo que uno cree que no tiene vida, tiene vida hasta la piedra, todo es importante. ¿Entonces, si tenemos buen vivir? Yo creo que sí. El desafío no está en decir que dejamos para las generaciones que vienen, sino también lo más importante es qué generaciones dejamos aquí.”

3.4.2. Parcelópolis

Este escenario explora las consecuencias de un aumento de subdivisiones de suelo rural para segunda vivienda sostenido, que continuó con la tendencia identificada durante la pandemia. Para que esto ocurra, el SAG no tiene las atribuciones ni la capacidad para fiscalizar subdivisiones que no cumplan con una

condición agrícola ganadera o forestal. Si bien, en este escenario las pautas de la Circular 475 siguen vigentes, aún es posible subdividir hasta 80 parcelas y la capacidad instalada de fiscalización. En consecuencia, la progresión de los proyectos de segunda vivienda se produce de forma paulatina. La Municipalidad y el Ministerio de Salud continúan otorgando permisos de construcción y de proyectos de agua respectivamente. Este proceso gradual pasa desapercibido para las comunidades indígenas hasta que alcanza una etapa avanzada. También entrelazado con el conflicto sostenido de proyectos públicos de agua, los proyectos que pueden proliferar son aquellos que tienen los medios económicos para adquirir derechos de agua y para diseñar e implementar proyectos de agua. Los temores expresados por las instituciones del sector agrícola se materializan, con la disminución de las tierras agrícolas y el aumento de los precios de los alimentos, lo que hace que sea más difícil depender de las actividades locales para el sustento. Como resultado, el sector de servicios relacionado con el turismo ha reemplazado a la mano de obra agrícola. El papel de INDAP y MMA permanece relativamente sin cambios. CONAF y las iniciativas privadas de conservación reciben apoyo de empresas inmobiliarias y propietarios de tierras, pero este apoyo se enfoca principalmente en mantener la belleza escénica de los bosques en lugar de preservar sus funciones ecosistémicas. Un habitante capturó la esencia de este escenario con la siguiente declaración:

“estamos viviendo un fenómeno donde también muchas inmobiliarias están llegando a las cabeceras de las cuencas, los loteos o sea estamos viendo, bueno, acá sobre todo en el área que me toca trabajar a mi, loteos de 250 parcelas en cabeceras de cuenca, lugares donde hay bosque primario. Y esto se da básicamente en lo que nosotros denominamos las Parcelópolis, que son lugares donde se concentra mucha cantidad de población sin servicios básicos, donde no hay luz, donde no hay alcantarillado y son, como les digo, cabeceras de cuenca prácticamente entre comillas vírgenes”

3.4.3 Como en Pucón

Este escenario explora la configuración de uso de suelo resultante de extender el modelo de desarrollo económico del Municipio de Pucón a toda el área de la cuenca Trancura. Representa un futuro donde prevalecen las percepciones externas del desarrollo. En consecuencia, sugiere que la tierra agrícola tradicional solo tiene el objetivo de cumplir con los objetivos orientados al turismo de la cuenca, ya que los alimentos pueden importarse de fuentes externas. Simultáneamente, el desarrollo industrial de la región, que difiere de la actual perspectiva política del municipio, cobra impulso debido a un cambio administrativo. Los alcaldes en períodos posteriores, apoyados por partidarios de la campaña política de fuera de la cuenca, adoptaron una perspectiva de desarrollo industrial y se alinearon políticamente con las estrategias internacionales destinadas a aumentar el producto interno bruto del país. El Gobierno Regional a través de la Estrategia de Desarrollo Regional incluye a Curarrehue como un activo para la exportación de frutas y destinos turísticos internacionales.

Algunos participantes han identificado la plausibilidad de este cambio debido a que en cierta medida ya está ocurriendo. Destacan que muchos habitantes trabajan en áreas como la piscicultura e incluso buscan trabajo fuera de la cuenca, como turismo en Pucón o en actividades de temporada y minería. En consecuencia, la mano de obra asociada a las labores de pequeña agricultura ha disminuido significativamente. Asociado a esta tendencia, en este escenario prosperan también otras actividades industriales como los monocultivos de árboles frutales y plantaciones forestales. Asimismo, a nivel nacional las empresas inmobiliarias logran declarar ilegal la Circular 475 lo cual genera un crecimiento explosivo en las subdivisiones rurales para segunda vivienda. En consecuencia, los bosques nativos, tanto dentro como fuera de las áreas protegidas, se enfrentan a la degradación. Las instituciones existentes, como

SAG, INDAP y CONAF, continúan con sus prácticas actuales, sin recursos suficientes para abordar los desafíos que enfrentan los pequeños agricultores y los esfuerzos de conservación. CONADI y el Ministerio del Ambiente no pueden reaccionar debido a la intensa presión de fuerzas externas. El bloqueo de agua de los servicios públicos de agua se resuelve parcialmente, ya que la mayoría de los proyectos de riego son financiados de forma privada y funcionan lo suficientemente bien como para apoyar algunas empresas de turismo rural que mantienen la fachada de desarrollo local. La frase expresada por un participante resume este escenario:

“La comparación con la comuna Pucón, yo siento que ellos destruyeron su entorno, o sea, le dieron como caja al turismo, lo desataron, lucraron todo lo que quisieron. Pucón no es una comuna pobre como Curarrehue, pero fue a costilla del territorio. Hoy día los espacios naturales con menos intervención en Pucón están en el parque Huerquehue, que fue de los lugares que están protegidos, porque todo lo demás está intervenido.”

Escenarios 2050	Componente clave	Gestión	LULCC	Ha	%
1. Agroecología	El Municipio se mantiene con la misma postura política.		↑ B. Nativo	100,99	74,33%
	Aumento en el presupuesto y apoyo del INDAP detonan incremento en agricultura de baja escala.	Municipio — Turismo ►◀	↑ Construido	4,106	3,02%
	SAG, logra mantener la regulación (Circ. 475) y aumentar las capacidades de vigilancia.	Agua ▲M SAG ▲M	↓ P. Forestales	167	0,12%
	CONAF, incrementar las atribuciones presupuestarias y de gestión.	INDAP ▲\$	↓ Matorrales	9,951	7,32%
	MMA, MINVU, Municipio, MINAGRI y BBNN supervisan conjuntamente los cambios de uso de suelo como Áreas construidas y agricultura industrial.	CONAF ▲\$ ▲M	↑ Pastizales	9,641	7,10%
	Las escalas Nacional y Regional apoyan las perspectivas locales.	BUENO ▲M	↓ Frutales	300	0,22%
	Conceptos locales del turismo por voluntad política.	CONADI ▲M, ≠ BBNN ▲M	- Hielo /Nieve	1,623	1,19%
	CONADI y comunidades Mapuche detienen oportunamente el uso de suelo externo a través de la confrontación.	GORE ►◀ Nacional ►◀	- S. Desnudo	9,089	6,69%
	Se desbloquean los proyectos de agua potable y alcantarillado.				
	2. Parcelópolis	La segmentación y gestión general de la institución sigue siendo la misma.		↓ B.Nativo	88,076
Municipio sigue cambiando su postura política, en algunos períodos da permisos de construcción para todas las construcciones de viviendas.		Municipio≠ Turismo —	↑ Construido	8,794	6,47%
INDAP observa tendencia decreciente en pequeña agricultura, pierde presupuesto.		Agua — SAG —	- P. Forestales	667	0,49%
Las capacidades del SAG se mantienen (Circ. 475) pero perseveran las segundas viviendas.		INDAP ▼\$ CONAF —, ≠	↓ Matorrales	18,504	13,62%
CONAF sigue igual, aumenta deforestación para proyectos habitacionales.		BUENO —	- Frutales	1,277	0,94%
CONADI y las comunidades indígenas siguen en conflicto. Esto último no da la voz de alarma de los proyectos de vivienda.		CONADI —, ≠ GORE —	- Hielo /nieve	1,623	1,19%
Las instituciones turísticas, siguen siendo las mismas.		BBNN —			
Nuevos habitantes y ONG unen esfuerzos con fines de conservación.		Nacional —	- S. Desnudo	9,089	6,69%
Permanece el bloqueo de los proyectos de agua.					
3. Como en Pucón		La segmentación y gestión general de la institución sigue siendo la misma.		↓ B. Nativo	73,515
	Municipio cambia su orientación política hacia el desarrollo económico	Municipio ◀► Turismo ◀►	↑ Urbano	8,794	6,47%
	INDAP observa tendencia decreciente en pequeña agricultura, pierde presupuesto.	Agua — SAG —	↑ P. Forestales	4,273	3,14%
	Disminuyen las atribuciones del SAG y se deroga la Circular 475, en la que los proyectos inmobiliarios experimentan un auge.	INDAP ▼\$	↑ Matorrales	25,300	18,62%
	CONADI no da la voz de alarma y conflictos con las comunidades.	CONAF —, ≠ BUENO —≠	↓ Pastizales	5,000	3,68%
	CONAF sigue igual, aumenta la tala informal de bosque nativo.	CONADI —, ≠ GORE ◀►	↑ Frutales	8,277	6,09%
	Las instituciones turísticas nacionales, regionales promueven el desarrollo industrial.	BBNN — ▼M			
	MMA sigue igual y en conflicto con las comunidades locales.	Nacional ◀►	- S. Desnudo	9,089	6,69%
	El bloqueo de los proyectos de agua se soluciona parcialmente.				

Iconografía de Gestión: ▲M = Más atribuciones; ▼M = Menos atribuciones; ▲\$ = Más presupuesto; ▼\$ = Menos presupuesto; — Sin cambios; ►◀ = orientado a lo local; ◀► = orientación nacional y global; ≠ = Conflicto

Cambio de uso de suelo Iconografía: ↑ = aumento; ↓ disminución; - Ningún cambio

Tabla 5. Traducción de escenarios de cualitativo a cuantitativo. Adaptado de Hauck et al. (2019, p. 206).

3.5. Resultados del modelamiento

Dado que nuestro objetivo principal es modelar el resultado espacial de diferentes escenarios de usos de suelo que representen diferentes dinámicas en la gestión estatal para ayudar a la toma de decisiones. Comparamos el resultado bajo los principales cambios en el uso de suelo identificados por los participantes. Estos son la pérdida de cobertura de bosque nativo por degradación a matorral o por áreas destinadas a segunda vivienda; y pérdida de pastizales relacionados con actividades agrícolas por aumento de áreas construidas, aumento de actividades agrícolas industriales relacionadas con monocultivos forestales y frutales. La **Figura 5** contiene los resultados del modelamiento de uso de suelo para los diferentes escenarios. Como punto de referencia utilizamos el escenario tendencial (BAU), que fue el resultado de la proyección de la tendencia actual comprendida entre los datos observados de 2004 y 2018. Para ayudar a la lectura de los mapas, la **Figura 6** muestra las diferencias en la cantidad de superficie por clase de usos de suelo en cada mapa de coberturas.

El escenario B-A-U presenta un aumento de áreas construidas y superficie de plantaciones de frutales en el lado oeste de la cuenca en las cercanías de Pucón. Asimismo, se presenta un aumento de las áreas construidas en torno a la ruta internacional al paso “Mamui Malal” hacia Argentina, que también es la entrada al Parque Nacional Villarrica. En el lado Norte, en el término municipal de Reigolil, no se aprecian ganancias significativas en áreas construidas y árboles frutales, aunque se observa un notorio aumento de matorral y pérdida de cobertura de bosque nativo.

A partir de los escenarios diseñados, Agroecología muestra un cambio significativo de matorrales a cobertura de bosque nativo debido al enfoque conservacionista de la gestión. Se observa un ligero aumento de superficies construidas en el área cercana a Pucón y próximas al costado de la ruta internacional. Los frutales son escasos y se acumulan en el área norte y suroeste de la cuenca. Mientras que los pastizales que contienen actividades agrícolas y

ganaderas han aumentado en su ubicación tradicional en suelos de altitud y pendiente baja. El escenario Parcelópolis muestra un aumento en las áreas construidas, densificando las áreas urbanas preexistentes con presencia dispersa en áreas de bosque nativo y cercanas a las áreas protegidas. La proporción de bosque nativo de matorral es casi la misma que en el escenario B-A-U, e incluso cuando las reglas de transición y la elasticidad de conversión cambiaron, los resultados espaciales son similares. Hay ligeras diferencias debido a que en este escenario se disminuyen las superficies de árboles frutales y aumento de las áreas construidas. El escenario Como en Pucón es el que proyecta los cambios más drásticos, ya que combina el aumento en superficie de usos considerados industriales más recientes, i.e. subdivisión rural y extensiones de monocultivos de frutales, con el retorno de las plantaciones forestales. La mezcla de monocultivos industriales cubre partidas de la cuenca suroeste de Pucón y crece sobre el centro urbano de Curarrehue. Por otro lado, se visualiza un notorio aumento de matorral debido a la degradación del bosque nativo y al abandono de las tierras de cultivo. Se incrementan aún más las áreas construidas cerca de la carretera y de la concentración urbana al 2018, pero también muestran un resultado más disperso que en el escenario anterior que se ubica cerca del Parque Nacional Villarrica.

En todos los escenarios hay una tendencia a ubicar las plantaciones forestales y frutales cerca de la zona de Pucón, y las áreas construidas en el sur cerca de Pucón y la ruta internacional a Argentina. Adicionalmente, una tendencia observada es que, en la zona norte de más difícil acceso, los principales cambios están representados por compensaciones entre cobertura de bosque nativo y matorral. Otra observación que solo se puede leer en contexto, es el reconocimiento del parecido entre el escenario Como en Pucón 2050 y el Pucón del 2018, visualizado en **Figura 7**.

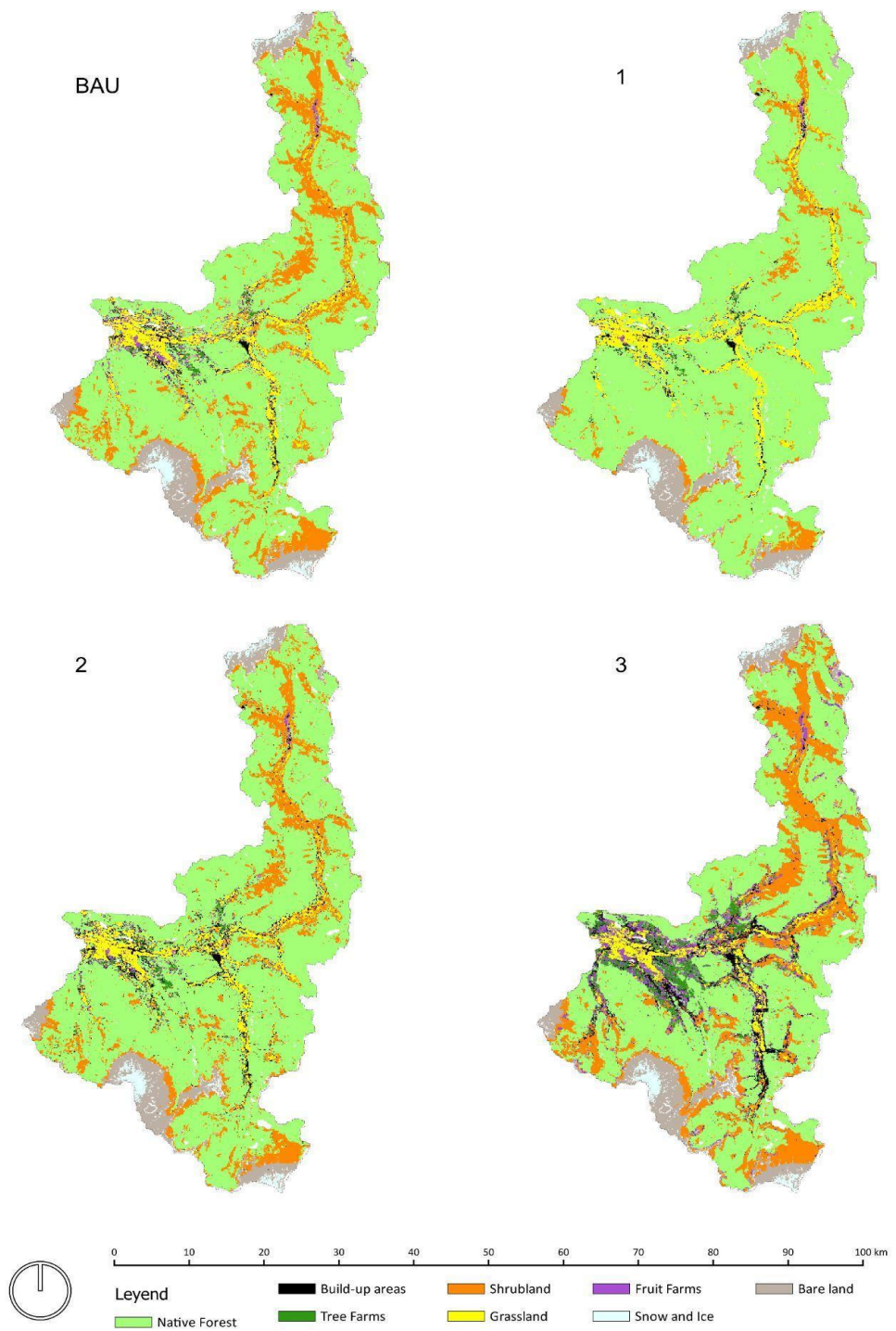


Figura 5. Resultados de la simulación de los escenarios de gestión del estado. B-A-U, (1) Agroecología, (2) Parcelópolis, (3) Cómo en Pucón.

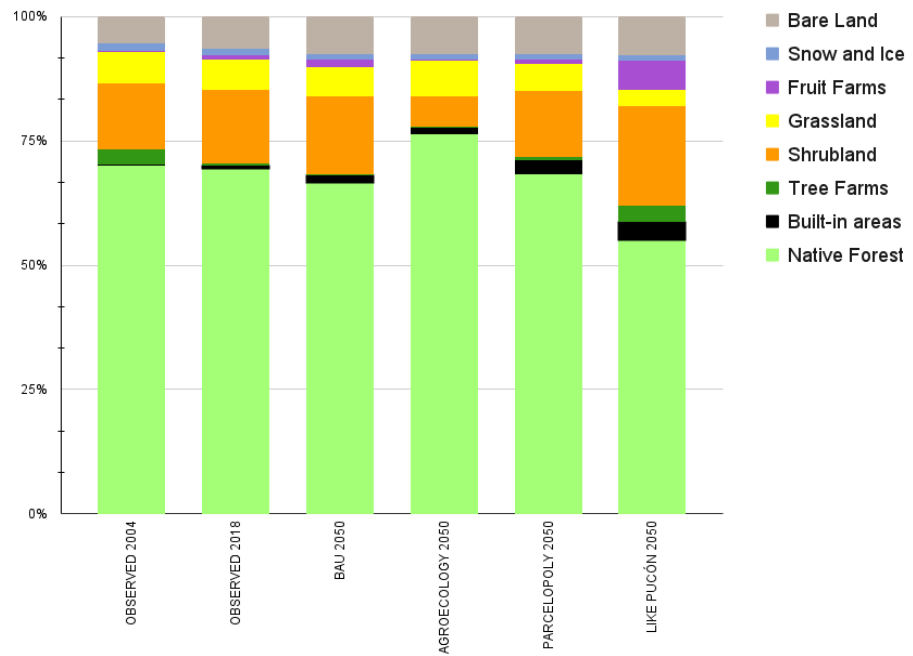


Figura 6. Diferencias en la superficie por uso del suelo de cada configuración en porcentaje.

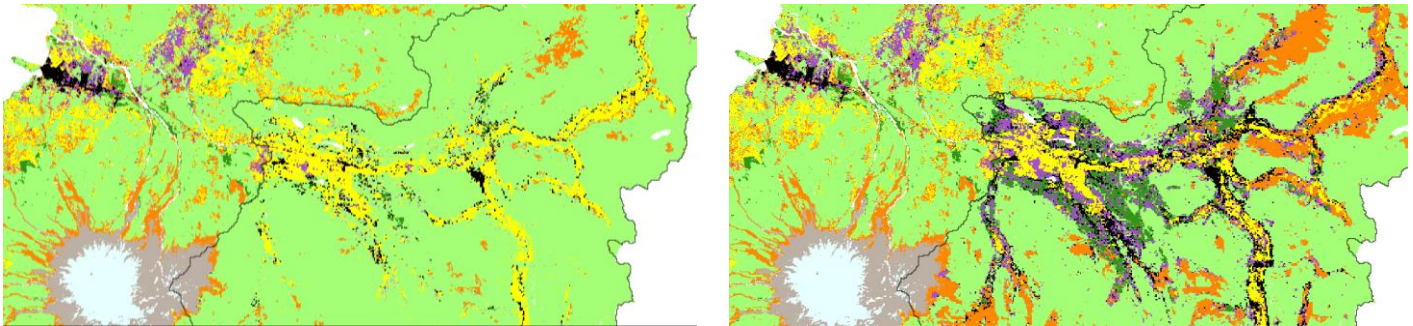


Figura 7. Comparación entre la zona de Pucón con los escenarios 1 y 2. La comparación está segmentada por el límite de la cuenca. Izquierda, Escenario Agroecológico comparado con el área observada del municipio de Pucón en 2018. Derecha, Escenario Como en Pucón 2050 comparado con el área observada del municipio de Pucón en 2018.

4. DISCUSIÓN

4.1. Gestión estatal a la deriva

A pesar de las preocupaciones compartidas sobre los cambios que ocurren en el área, el actual despliegue de las políticas estatales no se alinea con las necesidades territoriales específicas expresadas por los participantes y los habitantes. Esta falta de alineación ignora el significado cultural del suelo y su importancia en la provisión de recursos y funciones esenciales para el bienestar humano y no humano. Los funcionarios estatales son espectadores de las prácticas actuales de gestión que afectan el cambio de uso del suelo, e incluso son testigos del daño que se está causando a las áreas protegidas o de alto valor ecológico. La gestión del uso del suelo por parte del estado está a la deriva, sin evidencia de enfoques efectivos y unificados para abordar los posibles resultados y desafíos. El foco en agendas institucionales diversas, la marginación del territorio en el proceso de gestión y la priorización de políticas de mercado, han relegado al suelo a un papel secundario.

Durante nuestra investigación, nos encontramos inesperadamente con el tema de los instrumentos de planificación espacial, a pesar de que no fue nuestro enfoque principal durante las entrevistas. Los hallazgos revelaron que los participantes expresaron el deseo de desarrollar instrumentos de planificación para abordar los conflictos territoriales causados por cambios en el uso del suelo impulsados por intereses privados. Estas aspiraciones se alinean en parte con los marcos teóricos y legales existentes en la planificación territorial, que apuntan a incorporar la conciencia ecológica, el compromiso participativo y el carácter normativo en los instrumentos de planificación. Sin embargo, también destacó los desafíos significativos en la producción efectiva de estos instrumentos de manera oportuna, asegurando la relación entre áreas rurales y urbanas. Dados los rápidos cambios observados en el área de estudio, es fundamental explorar enfoques alternativos para la gestión y la planificación. Los instrumentos de planificación tradicionales, que demuestran ser lentos en su desarrollo y

fácilmente quedan obsoletos, están más en línea con las nociones convencionales de planificación arraigadas en el paradigma modernista (Ezquiaga-Domínguez, 2019). Como destaca Friedmann (Friedmann, 1992), el momento de la planificación debe responder a los acontecimientos cotidianos y tener en cuenta las consideraciones políticas y el pensamiento estratégico. Esto no implica que debamos descartar por completo los instrumentos de planificación. En cambio, abre la oportunidad de reconsiderar un enfoque más flexible que reconozca las diferentes tasas de cambio y pueda adaptarse a eventos socioespaciales específicos del contexto que evolucionan más rápidamente, y que los planes tradicionales de zonificación estática a menudo no pueden acomodar.

En este contexto, la hipótesis que reconoce el papel del Estado como la primera autoridad responsable de la gestión del uso del suelo en su carácter segmentado y constante influencia de factores externos, puede proporcionar una perspectiva práctica. Argumentamos que obtener una comprensión más profunda de los factores subyacentes en la gestión estatal, se puede utilizar de manera efectiva para lograr resultados socio ecológicos beneficiosos incluso en ausencia de planificación espacial. Encontramos que, considerar el cambio de escala de las regulaciones estatales y la influencia de las características socioeconómicas específicas del sitio ha sido valioso para identificar los factores de cambio más influyentes a nivel subnacional. En este sentido, varios factores como la postura política, la voluntad política, la comunicación, la presión social, las atribuciones de gestión, el grado de centralización y las presiones del mercado deben considerarse más allá de los ajustes institucionales adecuados (Clement, 2013). Dada la importancia global y local del cambio en el uso del suelo (Foley et al., 2005; Meyer & Turner, 1992; Turner et al., 2016) y sus tasas rápidas, sin precedentes e inciertas (Polasky et al., 2011), la integración explícita de estos factores se vuelve imperativa. Además, este problema se cruza directamente con un importante desafío de modelamiento, donde el abordaje inadecuado de las

causas subyacentes del cambio y la participación insuficiente de las partes interesadas obstaculizan sus capacidades para informar a la gestión y la toma de decisiones (Couclelis, 2005; Verburg et al., 2019).

Esto es especialmente importante en Chile, donde existe un debate político en curso entre quienes apoyan un enfoque de libre mercado con mínima intervención estatal y quienes lo critican. Como se ha observado, el enfoque de libre mercado para la gestión ambiental no implica necesariamente una reducción de la regulación estatal, sino que a menudo implica un proceso de re-regulación para asegurar el buen funcionamiento del mercado (Liverman & Vilas, 2006). Por ejemplo, durante más de cuatro décadas el Estado central ha promovido el aprovechamiento de los recursos específicos del territorio, asignando la responsabilidad de la planificación a las regiones, pero estas carecen de los recursos necesarios para cumplir con este rol de manera efectiva (Bustos Gallardo et al., 2019). Numerosos estudios han demostrado cómo actores sociales y económicos con intereses específicos influyen en la gestión del Estado en Chile en contextos específicos (Bustos Gallardo et al., 2019; Fragkou & Budds, 2020; Lukas et al., 2020; Manushevich et al., 2019). El Estado, al ser poroso y dependiente de instituciones compuestas por personas, internaliza los intereses de diferentes actores (Peck, 2001). En la práctica, ciertos aparatos estatales tienden a favorecer "algunos actores, algunas identidades, algunas estrategias, algunos horizontes espaciales y temporales, y algunas acciones sobre otras" (Jessop, 2008) (p. 124).

Las disparidades observadas entre escenarios ilustran efectivamente esta tendencia. Por ejemplo, el escenario de Agroecología se basa en un fuerte apoyo estatal para fomentar las iniciativas locales en la agricultura a pequeña escala y requiere voluntad política para resolver los bloqueos de agua y habilitar las actividades económicas locales. En contraste, el escenario Parcelópolis depende de un proceso fluido de aprobación de permisos, alineado con las demandas económicas del mercado inmobiliario. También requiere un bosque visualmente

atractivo, aunque no necesariamente uno con servicios regulatorios complejos. Por otro lado, en el escenario Como en Pucón, se basa en la preocupación de que las actividades económicas del uso del suelo en localidades cercanas, se desplacen aguas arriba del río Trancura debido a las crisis de agua en los asentamientos aguas abajo. Por un lado, actividades con recursos suficientes, como proyectos inmobiliarios rurales y monocultivos, pueden desarrollarse sin contratiempos y pueden ingresar fácilmente a la cuenca. Por otro lado, las actividades económicas locales de uso de la tierra con menos recursos tienden a desarrollarse más lentamente o permanecen en una situación ilegal debido a las prácticas de manejo estatal existentes. En resumen, la gestión, o la falta de ella, influye selectivamente en diferentes procesos de cambio de uso del suelo.

Particularmente, nuestro estudio encontró que los cambios de uso de suelo en la cuenca no se ven mayormente influenciados por una política pública explícitamente dirigida, como la promoción de plantaciones forestales apoyada por el DL 701 (Galleguillos et al., 2021; Maestriperi et al., 2017; Manushevich et al., 2019; Manushevich & Beier, 2016). En cambio, el principal fenómeno observado fue un conflicto político-económico que suscitó inquietudes y provocó el rechazo de la mayoría de los entrevistados. Este conflicto giró en torno a los impactos del Decreto ley 3,516 (1980) y la Circular 475 (2021), la política recientemente implementada que restringe las subdivisiones rurales y afecta a los desarrolladores del mercado inmobiliario. A lo largo de nuestro estudio, surgieron disputas legales entre el Ministerio de Agricultura, responsable de implementar la Circular 475, y la asociación Chile Rural, en representación de empresas inmobiliarias involucradas en el desarrollo de proyectos y subdivisiones rurales (Munita, 2022a, 2022b). La resolución de este conflicto aún está pendiente y es un claro ejemplo de la importancia de incorporar los conflictos en el análisis del cambio de uso del suelo.

Inicialmente, el área de estudio aparentaba ser un contexto libre de problemas, con la mayor parte de sus bosques nativos protegidos por el Estado. A medida

que profundizamos nuestra comprensión, observamos un aumento significativo en las subdivisiones rurales junto con otros cambios en la dinámica del uso del suelo. En este punto, reconocimos que integrar la gestión en el modelamiento no debe basarse únicamente en la integración de procesos de cambio del suelo aparentemente desconectados. Como destaca Sepúlveda (Sepúlveda et al., 1997) las superficies cercanas a las áreas protegidas son igualmente importantes para la integridad del ecosistema y dependen en gran medida de su morfología como mayor extensión en contacto con el exterior desprotegido. Al igual que la cuenca del río Trancura, los Pirineos, una región montañosa, han sido testigos de transformaciones problemáticas del suelo debido al turismo y las actividades de segunda vivienda, lo que ha resultado en la pérdida de la cubierta forestal y el patrimonio agrícola (Vaccaro & Beltran, 2010). La interacción entre la afluencia de "migrantes de amenidad" (Zunino & Hidalgo, 2010) y los anteriores incentivos económicos para el turismo proporcionados por el Estado (Martínez Riquelme, 2019) sirvió como una razón de peso para investigar el fenómeno de la segunda vivienda en conjunto con otras dinámicas de cambio de uso del suelo.

4.2. Proceso de modelado

En este punto es cuando la integración de estas dinámicas de gestión en el modelamiento cobra relevancia, ya que visualiza el cambio espacialmente explícito para enfocar esfuerzos, o para provocar una discusión en torno a la plausibilidad de los resultados. Sobre todo en un contexto donde los presupuestos de la institución son bajos como en el caso de CONAF. En este sentido, la R **lulcc** El paquete fue un marco efectivo para la simulación de la cobertura, brindando todos los beneficios de R al lenguaje de programación (Moulds et al., 2015). En este sentido, los modelos de regresión logística y random forest lograron una adecuada capacidad predictiva. También, mejoró la integración de otras etapas de modelado, como los procedimientos de filtrado de factores explicativos espaciales. Si bien, afirmamos que esto aún está lejos de ser "(...) fácil de usar y accesible para usuarios con distintos niveles de

experiencia en programación”. (Moulds et al., 2015) (pág. 3617). En algún momento desistimos en el intento de integrar el análisis de cadenas de Markov y utilizamos el software fácil de usar Terrset, también el proceso Fuzzy kappa Simulation fue desarrollado externamente. Además, el proceso iterativo de asignación de reglas de transición y conversiones de elasticidad podría incorporarse perfectamente al código. En conclusión, proponemos que este trabajo artesanal se puede automatizar perfectamente después de un proceso de codificación.

Otro punto importante con el paquete lulcc y CLUEs, es que el proceso del modelo se comporta bien con grandes porcentajes de uso del suelo, pero su capacidad predictiva disminuye cuando el porcentaje es aproximadamente inferior al 5%. En este estudio, consideramos dos categorías de uso de suelo, a saber, árboles frutales y áreas urbanizadas, que presentan un bajo porcentaje y, en consecuencia, reducen la capacidad predictiva del modelo. Sin embargo, estas categorías fueron incluidas por su importancia en los escenarios del estudio y su significación en las entrevistas. Brindan información valiosa cuando se consideran proyecciones futuras hasta 2050. Además, su inclusión se justifica por la naturaleza reciente de estos cambios en el uso de la tierra y los beneficios de utilizar un enfoque de método mixto. Aunque no hay registros previos de grandes áreas urbanizadas o plantaciones extensivas de árboles frutales, los participantes expresaron su preocupación por la proliferación de estos usos y los percibieron como cambios plausibles.

Finalmente, la efectividad de los modelos de uso del suelo de la cuenca del río Trancura aún requiere de más desarrollo. Como se destacó en la introducción, los modelos espacialmente explícitos pueden integrarse con otros modelos biofísicos y ayudar en los procesos de toma de decisiones. Para abordar el primer problema, el siguiente paso de la investigación consiste en explorar la compatibilidad de estos modelos con los modelos hidrológicos. Con respecto al segundo problema, proponemos mejorar la comunicación al complementar los

mapas de píxeles con herramientas de visualización adicionales que puedan transmitir de manera efectiva las posibilidades futuras de una manera directa e impactante (Cuevas & Mas, 2008; Sheppard, 2005)

4.3. Limitaciones del estudio

El modelado de sistemas socio ecológicos puede verse como un dispositivo heurístico, la reducción de interacciones complejas a abstracciones sistémicas se considera necesaria en el desarrollo de recomendaciones para los tomadores de decisiones (Crane, 2010). En este sentido, hicimos las siguientes suposiciones. Primero, esta investigación no incluyó un aspecto importante de la gestión del suelo que ocurre a través de litigios y procesos judiciales, cuando se evitan ciertos usos del suelo relacionados con proyectos que podrían ir en contra de los principios ciudadanos. Este proceso involucra al SEA (Servicio de Evaluación Ambiental) y al SMA (Superintendencia del Medio Ambiente). En segundo lugar, es importante reconocer que los individuos mapuches no pueden ser considerados como un grupo homogéneo. En esta investigación aprendimos que la diversidad dentro de su comunidad puede tener diversos impactos en el suelo. Cabe señalar que, en este estudio, incorporamos principalmente perspectivas de funcionarios estatales y pocos miembros de comunidades, y se debieran considerar las perspectivas adicionales de más perspectivas de comunidades mapuche para una comprensión más integral. En tercer lugar, no incluimos variables del cambio climático que, en última instancia, pueden reducir las tasas de crecimiento forestal y evitar la regeneración natural (Manushevich et al., 2019). En cuarto lugar, asumimos que no se producirá ningún cambio estocástico para 2050. En quinto lugar, asumimos que la expresión de áreas construidas debido al aumento de segunda vivienda se expresa cuando el 30% del píxel de resolución de 90-m.

La limitación de datos fue un obstáculo importante en este estudio. La disponibilidad de información es una limitación común en la modelización del uso del suelo (Booth et al., 2016; Manushevich & Beier, 2016). El principal problema

con los datos se refleja en la selección de factores explicativos en el proceso de calibración. Por ejemplo, se asume que los datos geográficos de propiedad de la tierra para 2013 no cambiaron en el período de 2004 a 2018. También se refleja en que solo usamos variables estáticas y no dinámicas. Por último, una limitación importante es que en las entrevistas también detectamos una renuencia genuina de los funcionarios estatales a hablar libremente sobre el conflicto y los prejuicios políticos.

5. CONCLUSIONES

El modelado de escenarios de uso de la tierra tiene como objetivo investigar los resultados potenciales de diferentes decisiones humanas sobre las configuraciones de la tierra. En ausencia de políticas de uso de la tierra espacialmente explícitas legalmente vinculantes, nuestro estudio incorpora las perspectivas de los funcionarios estatales para comprender cómo funciona la gestión del uso del suelo a nivel de cuenca y cómo puede cambiar en el futuro. Este enfoque nos permitió examinar las prácticas existentes de gestión del uso de la tierra y sus interacciones con las fuerzas sociopolíticas y económicas. A través de un proceso participativo, descubrimos dinámicas de gestión que van más allá de las agendas espacialmente específicas y la aplicación de políticas estandarizadas a nivel nacional. Las entrevistas revelan que la gestión del suelo existente es una interacción compleja del proceso histórico, las políticas nacionales modificadas y el contexto socio ecológico específico. En este sentido, los resultados se organizan en diferentes configuraciones de gestión estatal para informar cómo la interacción diferente entre instituciones y el contexto socioeconómico puede dar lugar a diferentes configuraciones de uso del suelo. Se desarrolló un escenario BAU como línea base y se diseñaron otros tres escenarios para expresar el principal interés de los participantes: A) Agroecología, B) Parcelópolis y C) Como en Pucón. Construimos los escenarios a partir de los resultados cualitativos de la gestión del estado actual. En este sentido, están determinados por diferentes condiciones de las instituciones tales como:

capacidades de gestión; presupuestos; voluntad política; ligado global y nacional o localmente; comunicación entre instituciones y conflictos. En este contexto, el escenario de la Agroecología representó una agricultura de baja escala y un resultado de regeneración del bosque nativo. El escenario Parcelopolis expresó un futuro donde los proyectos inmobiliarios de segunda vivienda aumentan significativamente. Finalmente, el escenario Como en Pucón se construye a partir de la preocupación compartida por varios actores locales del modelo de desarrollo de su municipio vecino.

A través del modelado, descubrimos el método estadístico basado en las áreas más probables en las que ocurrirá este proceso. El escenario que más se asemeja al escenario tendencial es el escenario Parcelopolis. El escenario que muestra mayor fragmentación del Bosque Nativo es el escenario Como en Pucón. Un escenario de Agroecología muestra cómo se regenera el bosque nativo dentro de las áreas protegidas. Transversalmente, el intercambio de bosques nativos y matorrales debido a la degradación de la regeneración se asigna al norte, cerca de la Reserva Villarrica. En tanto, el aumento de árboles frutales, cultivos de árboles y áreas edificadas es más probable que se presente en la zona sur de la cuenca aledaña a la ruta internacional y al Municipio de Pucón.

El modelado de mapas de uso de la tierra espacialmente explícitos proporcionó información valiosa sobre la dinámica espacial y temporal de los cambios en el uso del suelo, lo que nos permitió obtener una comprensión integral de la urgencia de abordar las preocupaciones y aspiraciones territoriales. Al visualizar los patrones y tendencias del uso del suelo, identificamos áreas donde se necesitan intervenciones y determinamos el momento adecuado para la acción. Esta investigación muestra que la implementación de políticas e instrumentos de uso de la tierra enfrenta desafíos y demoras, creando un ciclo persistente de gestión ineficaz. Esto indica que la gestión del suelo carece de un enfoque coherente y proactivo, y se basa en cambio en las capacidades de varias instituciones que potencialmente poseen una comprensión de la gestión del suelo

más allá de los simples arreglos de tenencia de la tierra. Abordar estos problemas requiere un esfuerzo concertado para generar conciencia sobre los impactos de las prácticas institucionales segmentadas y sus contextos socioeconómicos influyentes para utilizar los recursos de gestión existentes para impulsar un cambio positivo tanto para el ecosistema como para la sociedad.

Contribución de los autores: Conceptualización, A.D.J. y D.M.; metodología, A.D.J., D.M. y A.G.; análisis formal, A.D.J. y DM; investigación, A.D.J., D.M. y A.G.; software A.D.J., y A.G.; validación, A.D.J., D.M. y A.G.; visualización, A.D.J.; escritura – borrador original, A.D.J.; escritura – revisión y edición, A.D.J., D.M., M.Z. y A.G.; supervisión, D.M. y M.Z.; administración de proyectos, M.Z.; Adquisición de fondos, M.Z. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Fondos: Esta investigación fue financiada por PCI CONICYT Chile - NSFC China NSFC190018: “Gestión de los impactos del cambio global en los extremos hidrológicos mediante el acoplamiento de datos de teledetección y un enfoque de modelado interdisciplinario” (Chi)2. La segunda mitad del Programa de estudios de Magíster en la que se inscribe esta investigación fue financiada por el programa de becas Chile CREA del Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio del Gobierno de Chile. Del año 2022, folio 630951.

Declaración de consentimiento informado: Se obtuvo el consentimiento informado de todos los sujetos involucrados en el estudio.

Expresiones de gratitud: Los autores agradecen a los integrantes del programa de Maestría en Geografía y a todos los participantes en esta investigación.

Conflictos de interés: Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Apéndice A. Preguntas de las entrevistas

Apéndice A.1. Preguntas a los habitantes.

Contexto:

“¿Cómo era esta zona antes? ¿Qué actividades o tareas fueron las más importantes? ¿Eso cambió y por qué crees que cambió? ¿Cómo es la zona hoy? ¿Puede identificar actores relevantes que influyan en el territorio de captación? ¿Ha identificado nuevos actores en los últimos 5 años?”;

Re-escalado estatal:

“¿Reconoce diferencias de cambios en la dirección administrativa? ¿Reconoce conflictos con y entre otras instituciones estatales y otros actores? ¿Hay algunos actores que provocan más cambios que otros? ¿Cómo funcionan las instituciones estatales en la zona y a qué le prestan más atención?”;

Narrativas del escenario: “¿Cómo crees que será este lugar dentro de 30 años? ¿De quién depende?”

Apéndice A.2. Preguntas a funcionarios del Estado.

Procedimientos:

“¿Cuáles son las principales políticas, leyes, reglamentos con los que trabaja su institución en la cuenca? ¿Considera que influyen en cómo se organiza el territorio? ¿Han sufrido estos procedimientos algún cambio en los últimos 5 años y, de ser así, qué cambió? ¿Hay ciertos procedimientos que tienen más probabilidades de ocurrir que otros? ¿Cuál y cómo se relaciona su institución con otras instituciones? ¿Reconoce diferencias con y entre otras instituciones del Estado? ¿Reconoce alguna diferencia basada en cambios en la dirección administrativa de su institución?”

Interacciones con el contexto:

¿Cuál y cómo se relaciona su institución con otros actores? ¿Algunos actores provocan más cambios que otros? ¿Reconoce los conflictos con y entre otros actores?”

Narrativas del escenario:

“¿Cómo crees que será el área de la cuenca en 30 años? ¿De qué proceso institucional depende?”

Apéndice B. Proceso y parámetros de modelamiento

Parámetros de Calibración										
MATRIZ DE TRANSICIÓN										
Cambio 2004/2050	B. Nativo	Construido	P. forestales	Matorrales	Pastizales	Frutales	Hielo/ Nieve	S. desnudo	ELASTICIDAD DE CONVERSIÓN	Calibración
B. Nativo	1	1	1	1	1	1	0	0		0.2
Construido	0	1	0	0	0	0	0	0		1
P. forestales	1	1	1	1	1	1	0	0		0.9
Matorrales	1	1	1	1	1	1	0	1		0.2
Pastizales	1	1	1	1	1	1	0	0		0.3
Frutales	0	1	0	1	1	1	0	0		0.6
Hielo/ Nieve	0	0	0	0	0	0	1	1		0.7
Suelo desnudo	0	1	0	1	0	0	1	1		0.4
DEMANDA										
t ₀	2004	116625	468	5271	22019	10415	408	2641	8980	
t _{0<n>1}	2005-2017	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	
t ₁	2018	115608	1096	822	24712	10004	1564	2319	10702	
t _{1<n>2}	2019-2049	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	
t ₂	2050	110768	2492	585	26041	9823	2539	1979	12601	
%		66.4%	1.5%	0.4%	15.6%	5.9%	1.5%	1.2%	7.6%	

Tabla B 1. Parámetros de Calibración. En azul incluye demanda del escenario B-A-U.

2004/2018	B. Nativo	Construido	P. Forestal	Matorral	Pradera	Frutales	Hielo/Nieve	S. Desnudo
B. Nativo	88,93%	0,24%	0,41%	8,72%	1,17%	0,21%	0,00%	0,33%
Construido	12,50%	12,50%	12,50%	12,50%	12,50%	12,50%	12,50%	12,50%
Forestal	50,85%	1,96%	0,44%	26,71%	14,68%	3,60%	0,01%	1,74%
Matorral	22,44%	1,65%	0,18%	50,61%	13,96%	2,18%	0,23%	8,75%
Pradera	14,25%	6,35%	0,26%	26,66%	41,52%	9,71%	0,01%	1,25%
Frutales	10,78%	8,81%	0,25%	19,55%	36,26%	23,64%	0,00%	0,70%
Nieve y hielo	0,01%	0,09%	0,01%	0,24%	0,01%	0,01%	54,46%	45,17%
S. Desnudo	0,19%	0,59%	0,04%	1,32%	0,13%	0,05%	6,46%	91,23%

Tabla B 2. Potencial de transición de Markov con la probabilidad de cambiar a otra clase de suelo, desarrollado en el módulo de cambio de uso de suelo de Terrset. A diferencia de una extrapolación lineal, se basa en el estado anterior del sistema y las probabilidades de transición entre diferentes estados para predecir futuros en la demanda del cambio de uso del suelo.

Escenario 1. Agroecología										
MATRIZ DE TRANSICIÓN										
cambio 2004/2050	B. Nativo	Construido	P. Forestales	Matorrales	Pastizales	Frutales	Hielo/ Nieve	S. desnudo	ELASTICIDAD DE CONVERSIÓN	Elas. Cambio Calibración
	B. Nativo	1	0	0	1	0	0	0		
Construido	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
P. Forestales	1	1	1	0	1	1	0	1	0.4	0.9
Matorrales	1	1	1	1	1	1	0	1	0.3	0.2
Pastizales	1	1	1	1	1	1	0	1	0.7	0.3
Frutales	1	1	0	0	0	1	0	1	0.4	0.6
Hielo/ Nieve	0	0	0	0	0	0	1	1	0.7	0.7
Suelo desnudo	0	1	1	0	1	1	1	1	0.4	0.4
DEMANDA										
t ₀	2004	116625	468	5271	22019	10415	408	2641	8980	
t _{0<n>1}	2005-2017	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	
t ₁	2018	115608	1096	822	24712	10004	1564	2319	10702	
t _{1<n>2}	2019-2049	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	
t ₂	2050	127230	2425	206	10166	11983	371	1912	12534	
%		76.3%	1.5%	0.1%	6.1%	7.2%	0.2%	1.1%	7.5%	

Tabla B 3. Reglas de transición y demanda para el escenario 1, en azul lo que cambio con respecto a la calibración.

Escenario 2. Parcelópolis										
MATRIZ DE TRANSICIÓN										
cambio 2004/2050	B. Nativo	Construido	P. Forestales	Matorrales	Pastizales	Frutales	Hielo/ Nieve	S. Desnudo	Elasticidad de Conversión	Elas. Cambio Calibración
	B. Nativo	1	1006	0	1006	0	0	0		
Construido	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
P. Forestales	1	1	1	0	1	1	0	1	0.5	0.9
Matorrales	1	1	1	1	1	1	0	1	0.4	0.2
Pastizales	0	1	1	1	1	1	0	1	0.3	0.3
Frutales	0	1	1	0	1	1	0	1	0.5	0.6
Hielo/ Nieve	0	0	0	0	0	0	1	1	0.7	0.7
Suelo desnudo	0	1	1	1	1	1	1	1	0.4	0.4
DEMANDA										
t ₀	2004	116625	468	5271	22019	10415	408	2641	8980	
t _{0<n>1}	2005-2017	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	
t ₁	2018	115608	1096	822	24712	10004	1564	2319	10702	
t _{1<n>2}	2019-2049	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	
t ₂	2050	113855	4900	824	22345	9080	1377	1912	12534	
	%	68.2%	2.9%	0.5%	13.4%	5.4%	0.8%	1.1%	7.5%	

Tabla B 4. Reglas de transición y demanda para el escenario 2, en azul lo que cambio con respecto a la calibración.

Escenario 3. Como en Pucón										
MATRIZ DE TRANSICIÓN										
cambio 2004/2050	B. Nativo	Construido	P. Forestales	Matorrales	Pastizales	Frutales	Hielo/ Nieve	S. Desnudo	ELASTICIDAD DE CONVERSIÓN	Elas. Cambio Calibración
	B. Nativo	1	1	1	1	1	1	0		
Construido	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
P. Forestales	1	1	1	1	1	1	0	1	0.7	0.9
Matorrales	1	1	1	1	1	1	0	1	0.3	0.2
Pastizales	1	1	1	1	1	1	0	1	0.4	0.3
Frutales	1	1	1	1	1	1	0	1	0.7	0.6
Hielo/ Nieve	0	0	0	0	0	0	1	1	0.7	0.7
Suelo desnudo	1	1	1	1	1	1	1	1	0.4	0.4
DEMANDA										
t0	2004	116625	468	5271	22019	10415	408	2641	8980	
t0<n>1	2005-2017	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	
t1	2018	115608	1096	822	24712	10004	1564	2319	10702	
t1<n>2	2019-2049	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	
t2	2050	91759	6200	5275	33435	5676	9679	1912	12891	
%		55.0%	3.7%	3.2%	20.0%	3.4%	5.8%	1.1%	7.7%	

Tabla B 5. Reglas de transición y demanda para el escenario 3, en azul lo que cambio con respecto a la calibración.

6. Referencias

- Aguayo, M., Stehr, A., & Link, O. (2016). Respuesta hidrológica de una cuenca de meso escala frente a futuros escenarios de expansión forestal. *Revista de geografía Norte Grande*, 65, 197–214. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022016000300010>
- Alcamo, J. (2008). Chapter Six The SAS Approach: Combining Qualitative and Quantitative Knowledge in Environmental Scenarios. In *Developments in Integrated Environmental Assessment* (Vol. 2, pp. 123–150). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1574-101X\(08\)00406-7](https://doi.org/10.1016/S1574-101X(08)00406-7)
- Andrade, B., Arenas, F., & Guijón, R. (2008). Revisión crítica del marco institucional y legal chileno de ordenamiento territorial: El caso de la zona costera. *Revista de geografía Norte Grande*, 41. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022008000300002>
- Aravena, C., Carvajal, L., Castro, J., Alvaro, E., & Pizarro, S. (2021). Establece Ley marco de suelos (Primer trámite constitucional 14714–01). Senado de la República. Chile http://www.senado.cl/appsenado/templates/tramitacion/index.php?boletin_ini=14714-01
- Armijo Z., G., & Caviedes B., H. (2010). El avance de la urbanización del campo en la región metropolitana de Chile y sus efectos espaciales. *Anales de la Universidad de Chile*, 0(5). <https://doi.org/10.5354/0365-7779.1997.2985>
- Assaf, C., Adams, C., Ferreira, F. F., & França, H. (2021). Land use and cover modeling as a tool for analyzing nature conservation policies – A case study of Juréia-Itatins. *Land Use Policy*, 100, 104895. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104895>
- Balée, W. (2006). The Research Program of Historical Ecology. *Annual Review of Anthropology*, 35(1), 75–98. <https://doi.org/10.1146/annurev.anthro.35.081705.123231>
- Barnosky, A. D., Matzke, N., Tomiya, S., Wogan, G. O. U., Swartz, B., Quental, T. B., Marshall, C., McGuire, J. L., Lindsey, E. L., Maguire, K. C., Mersey,

- B., & Ferrer, E. A. (2011). Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature*, 471(7336), 51–57. <https://doi.org/10.1038/nature09678>
- Barrena, J., Nahuelhual, L., Báez, A., Schiappacasse, I., & Cerda, C. (2014). Valuing cultural ecosystem services: Agricultural heritage in Chiloé island, southern Chile. *Ecosystem Services*, 7, 66–75. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.12.005>
- Bengoa, J. (2014). *Mapuche, colonos y el Estado nacional*. Catalonia.
- Biggs, R., Diebel, M. W., Gilroy, D., Kamarainen, A. M., Kornis, M. S., Preston, N. D., Schmitz, J. E., Uejio, C. K., Van De Bogert, M. C., Weidel, B. C., West, P. C., Zaks, D. P., & Carpenter, S. R. (2010). Preparing for the future: Teaching scenario planning at the graduate level. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 8(5), 267–273. <https://doi.org/10.1890/080075>
- Booth, E. G., Qiu, J., Carpenter, S. R., Schatz, J., Chen, X., Kucharik, C. J., Loheide, S. P., Motew, M. M., Seifert, J. M., & Turner, M. G. (2016). From qualitative to quantitative environmental scenarios: Translating storylines into biophysical modeling inputs at the watershed scale. *Environmental Modelling & Software*, 85, 80–97. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.08.008>
- Börjeson, L., Höjer, M., Dreborg, K.-H., Ekvall, T., & Finnveden, G. (2006). Scenario types and techniques: Towards a user's guide. *Futures*, 38(7), 723–739. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2005.12.002>
- Brenner, N. (2004). *New state spaces: Urban governance and the rescaling of statehood*. Oxford University Press.
- Brenner, N. (2009). Urban Governance and the Production of New State Spaces in Western Europe, 1960–2000. In B. Arts, A. Lagendijk, & H. V. Houtum (Eds.), *The Disoriented State: Shifts in Governmentality, Territoriality and Governance* (Vol. 49, pp. 41–77). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9480-4>
- Bustos Gallardo, B., Lukas, M., Stamm, C., & Torre, A. (2019). Neoliberalismo y gobernanza territorial: Propuestas y reflexiones a partir del caso de Chile. *Revista de geografía Norte Grande*, 73, 161–183. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022019000200161>

- Circular 475 del 2022, Ministerio de Agricultura, Resolución Exenta 3904/2019; Oficio N° 637/2022. Director Nacional del SAG. Instruye sobre suspensión o rechazo de proyectos de certificación de subdivisión de predios rústicos y criterios complementarios de revisión determinadas por el análisis de la mesa SPR. (2022).
- Cordero, E., Quinzacara, Vargas, I., & Delgado. (2016). Evaluación ambiental estratégica y planificación territorial. Análisis ante su regulación legal, reglamentaria y la jurisprudencia administrativa. *Revista chilena de derecho*, 43(3), 1031–1056. <https://doi.org/10.4067/S0718-34372016000300011>
- Corry, O. (2020). Nature and the international: Towards a materialist understanding of societal multiplicity. *Globalizations*, 17(3), 419–435. <https://doi.org/10.1080/14747731.2019.1676587>
- CR2. (2020). Productos grillados. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia—CR2. <https://www.cr2.cl/datos-productos-grillados/>
- Crane, T. A. (2010). Of Models and Meanings: Cultural Resilience in Social–Ecological Systems. *Ecology and Society*, 15(4), art19. <https://doi.org/10.5751/ES-03683-150419>
- Crisóstomo Loncopán, L. (2021). “ KIZUGUNEWAYIÑ INCHIÑ TAYIÑ PU LOF MEW : WENUNTUTUN TAYIÑ KUYFI MAPUN ” Reconstrucción territorial del lof txankura. [Thesis]. Universidad Católica de Temuco.
- CONAF, Corporación Parques para Chile, GORE Araucanía, Municipalida de Collipulli, Municipalida de Curacautín, Municipalidad de Lonquimay, Municipalida de Vilcún, Municipalidad de Melipeuco, Municipalidad de Cunco, Municipalidad de Villarrica, Municipalidad de Pucón, & Municipalidad de Curarrehue. (2009). Expediente de Propuesta Ampliación Reserva de Biosfera Araucarias (p. 571) [UNESCO – Programa Hombre y la Biosfera (MAB) – Formulario de propuesta de Reservas de Biosfera]. http://documentos.parquesparachile.cl/expediente_rba.pdf.pdf
- Decreto 469 de 2021, Ministerio del Interior y Seguridad Pública, Aprueba política nacional de ordenamiento territorial (2021). <https://www.bcn.cl/leychile>
- Decreto Ley 3516 de 1980, Ministerio de Agricultura, Establece normas sobre división de predios rústicos. (1980). <https://bcn.cl/33ve0>

- DGA. (2004). Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca del Río Toltén. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile. <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/Tolten.pdf>
- DGA. (2011). Regionalización de parámetros en cálculo de escorrentía en cuencas pluviales (SDT No 321; p. 308). Gobierno De Chile, Ministerio De Obras Públicas, Dirección General De Aguas, División De Estudios Y Planificación. <https://snia.mop.gob.cl/repositorioldga/handle/20.500.13000/5328>
- Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Martín-López, B., Watson, R. T., Molnár, Z., Hill, R., Chan, K. M. A., Baste, I. A., Brauman, K. A., Polasky, S., Church, A., Lonsdale, M., Larigauderie, A., Leadley, P. W., Van Oudenhoven, A. P. E., Van Der Plaats, F., Schröter, M., Lavorel, S., ... Shirayama, Y. (2018). Assessing nature's contributions to people. *Science*, 359(6373), 270–272. <https://doi.org/10.1126/science.aap8826>
- Doelman, J. C., Stehfest, E., Tabeau, A., Van Meijl, H., Lassaletta, L., Gernaat, D. E. H. J., Hermans, K., Harmsen, M., Daioglou, V., Biemans, H., Van Der Sluis, S., & Van Vuuren, D. P. (2018). Exploring SSP land-use dynamics using the IMAGE model: Regional and gridded scenarios of land-use change and land-based climate change mitigation. *Global Environmental Change*, 48, 119–135. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.11.014>
- Eastman, R. (2016). Terrset Manual. Geospatial Monitoring and Modeling System. Clark University. <https://clarklabs.org/wp-content/uploads/2016/10/Terrset-Manual.pdf>
- El Mostrador. (2022, November 3). Guardaparques de Torres del Paine inician paro indefinido tras nulas respuestas de Conaf. El Mostrador. <https://www.elmostrador.cl/dia/2022/11/03/guardaparques-de-torres-del-paine-inician-paro-indefinido-tras-nulas-respuestas-de-conaf/>
- Emel, J., Huber, M. T., & Makene, M. H. (2011). Extracting sovereignty: Capital, territory, and gold mining in Tanzania. *Political Geography*, 30(2), 70–79. <https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2010.12.007>

- Espinoza Lizama, C. (2019). The Territorial Planning Instruments (TPI) and their contribution to the sustainable management of the territory. *Tiempo y Espacio*, 52–72.
- Ezquiaga-Domínguez, J. M. (2019). La Nueva Agenda Urbana y la Reinención de la Planificación Espacial: Del Paradigma a la Práctica. *CIUDAD Y TERRITORIO ESTUDIOS TERRITORIALES*, 51(202), 765–784.
<https://recyt.fecyt.es/index.php/CyTET/article/view/77735>
- FAO. (2018). *The State of the World's Forests 2018—Forest pathways to sustainable development*. Rome.
- Farr, T. G., & Kobrick, M. (2000). Shuttle radar topography mission produces a wealth of data. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 81(48), 583–585. <https://doi.org/10.1029/EO081i048p00583>
- Flores, J. (2013). La construcción del espacio. Una mirada histórica al territorio cordillerano de la Araucanía. In A. Núñez, R. Sánchez, & F. Arenas (Eds.), *Fronteras en movimiento e imaginarios geográficos: La cordillera de Los Andes como espacialidad sociocultural* (pp. 415–449). RIL Editores.
- Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., Chapin, F. S., Coe, M. T., Daily, G. C., Gibbs, H. K., Helkowski, J. H., Holloway, T., Howard, E. A., Kucharik, C. J., Monfreda, C., Patz, J. A., Prentice, I. C., Ramankutty, N., & Snyder, P. K. (2005). Global Consequences of Land Use. *Science*, 309(5734), 570–574.
<https://doi.org/10.1126/science.1111772>
- Fragkou, M. C., & Budds, J. (2020). Desalination and the disarticulation of water resources: Stabilising the neoliberal model in Chile. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 45(2), 448–463.
<https://doi.org/10.1111/tran.12351>
- Friedmann, J. (1992). Planificación para el siglo XXI: el desafío del posmodernismo. *Revista EURE*, *Revista EURE*(55), 79–89.
- Fuentes Acuña, N. R., & Marchant, C. (2016). ¿Contribuyen las prácticas agroecológicas a la sustentabilidad en la Agricultura Familiar de Montaña? El caso de Curarrehue, región de la Araucanía, Chile. *Cuadernos de*

Desarrollo Rural, 13(78), 35. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr13-78.cpas>

Fuenzalida, M., & Quiroz, R. (2012). La dimensión espacial de los conflictos ambientales en Chile. *Polis (Santiago)*, 11(31), 157–168. <https://doi.org/10.4067/S0718-65682012000100009>

Galleguillos, M., Gimeno, F., Puelma, C., Zambrano-Bigiarini, M., Lara, A., & Rojas, M. (2021). Disentangling the effect of future land use strategies and climate change on streamflow in a Mediterranean catchment dominated by tree plantations. *Journal of Hydrology*, 595, 126047. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126047>

Gareth, J., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2021). *An Introduction to Statistical Learning: With Applications in R*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1418-1>

Geist, H. J., & Lambin, E. F. (2002). Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation. *BioScience*, 52(2), 143. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0143:PCAUDF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0143:PCAUDF]2.0.CO;2)

Generación M. (2020, November 23). Nuevo retiro del 10% genera inesperada alza de mercado inmobiliario en Internet. *El Mostrador*. <https://www.elmostrador.cl/generacion-m/2020/11/23/nuevo-retiro-del-10-genera-inesperada-alza-de-mercado-inmobiliario-en-internet/>

Gimeno, F., Galleguillos, M., Manushevich, D., & Zambrano-Bigiarini, M. (2022). A coupled modeling approach to assess the effect of forest policies in water provision: A biophysical evaluation of a drought-prone rural catchment in south-central Chile. *Science of The Total Environment*, 830, 154608. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154608>

Gomes, E., Inácio, M., Bogdzevič, K., Kalinauskas, M., Karnauskaitė, D., & Pereira, P. (2021). Future land-use changes and its impacts on terrestrial ecosystem services: A review. *Science of The Total Environment*, 781, 146716. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146716>

Gutiérrez, G., & Peña-Cortés, F. (2011). Estado y Situación Actual de los Planes Reguladores Comunes en la Región de la Araucanía (Chile). *Documentos*

- y Aportes en Administración Pública y Gestión Estatal, 16, 97–119.
<https://doi.org/10.14409/da.v1i16.1265>
- Hauck, J., Schleyer, C., Priess, J. A., Veerkamp, C. J., Dunford, R., Alkemade, R., Berry, P., Primmer, E., Kok, M., Young, J., Haines-Young, R., Dick, J., Harrison, P. A., Bela, G., Vadineanu, A., & Görg, C. (2019). Combining policy analyses, exploratory scenarios, and integrated modelling to assess land use policy options. *Environmental Science & Policy*, 94, 202–210.
<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.12.009>
- Henríquez-Dole, L., Usón, T. J., Vicuña, S., Henríquez, C., Gironás, J., & Meza, F. (2018). Integrating strategic land use planning in the construction of future land use scenarios and its performance: The Maipo River Basin, Chile. *Land Use Policy*, 78, 353–366. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.06.045>
- Hollingsworth, R. J. (1998). Territoriality in Modern Societies: The Spatial and Institutional Nestedness of National Economies. In S. Immerfall (Ed.), *Territoriality in the Globalizing Society* (pp. 17–37). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-58869-3_2
- Huiliñir-Curío, V. (2018). Movilidades Mapuches en los Andes del sur de Chile: El caso de una comunidad Mapuche de Curarrehue, Región de la Araucanía. *Revista LIDER*, 20(33), 41–66.
- INE, (2017). Censo de Población y Vivienda 2017 [Microdatos censales georreferenciados.]. <http://ine-chile.maps.arcgis.com/>
- INE, (2021). VIII Censo Nacional Agropecuario y Forestal [Cuadros estadísticos]. <https://www.ine.gob.cl/estadisticas/economia/agricultura-agroindustria-y-pesca/censos-agropecuarios>
- INIA. (2021). Potencial frutícola de la Araucanía: Estado actual, oportunidades y desafíos. (Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 449; p. 52). Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Ministerio de Agricultura de Chile.
- IPBES. (2018). Summary for policymakers of the assessment report on land degradation and restoration of the Intergovernmental Science Policy-Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. (R. Scholes, L. Montanarella, A. Brainich, N. Barger, B. ten Brink, M. Cantele, B. Erasmus,

- J. Fisher, T. Gardner, T. G. Holland, F. Kohler, J. S. Kotiaho, G. V. Maltitz, G. Nangendo, R. Pandit, J. Parrotta, M. D. Potts, S. Prince, M. Sankaran, & L. Willemen, Eds.; p. 44). IPBES secretariat. Bonn, Germany.
https://www.ipbes.net/sites/default/files/spm_3bi_ldr_digital.pdf
- IPCC. (2019). Summary for Policymakers. In: *Climate Change and Land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* (P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.- O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, Ed.; p. 34). In press.
- Jaime, F., Dufour, G., Alessandro, M., & Amaya, P. (Eds.). (2013). *Introducción al análisis de políticas públicas* (1. ed). Univ. Nacional Arturo Jauretche.
- Jessop, B. (2002). *The future of the capitalist state. Polity ; Distributed in the USA by Blackwell Pub.*
- Jessop, B. (2008). *The State and State-building*. In R. A. W. Rhodes, S. Binder, & B. Rockman (Eds.), *The Oxford handbook of political institutions* (1. publ. in paperback, pp. 111–130). Oxford Univ. Press.
- Kok, K., Bärlund, I., Flörke, M., Holman, I., Gramberger, M., Sendzimir, J., Stuch, B., & Zellmer, K. (2015). European participatory scenario development: Strengthening the link between stories and models. *Climatic Change*, 128(3–4), 187–200. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1143-y>
- Legrand, T., Froger, G., & Le Coq, J.-F. (2013). Institutional performance of Payments for Environmental Services: An analysis of the Costa Rican Program. *Forest Policy and Economics*, 37, 115–123.
<https://doi.org/10.1016/j.forpol.2013.06.016>
- Liverman, D. M., & Vilas, S. (2006). Neoliberalism and the Environment in Latin America. *Annual Review of Environment and Resources*, 31(1), 327–363.
<https://doi.org/10.1146/annurev.energy.29.102403.140729>
- Loftus, A. (2020). Political ecology II: Whither the state? *Progress in Human Geography*, 44(1), 139–149. <https://doi.org/10.1177/0309132518803421>

- Lukas, M., Fragkou, M. C., & Vásquez, A. (2020). Hacia una ecología política de las nuevas periferias urbanas: Suelo, agua y poder en Santiago de Chile. *Revista de geografía Norte Grande*, 76, 95–119. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022020000200095>
- Maestripieri, N., Houet, T., Paegelow, M., Selleron, G., Toro Balbontín, D., & Sáez Villalobos, N. (2017). Dynamic simulation of forest management normative scenarios: The case of timber plantations in the southern Chile. *Futures*, 87, 65–77. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2015.10.013>
- Mallampalli, V. R., Mavrommati, G., Thompson, J., Duveneck, M., Meyer, S., Ligmann-Zielinska, A., Druschke, C. G., Hychka, K., Kenney, M. A., Kok, K., & Borsuk, M. E. (2016). Methods for translating narrative scenarios into quantitative assessments of land use change. *Environmental Modelling & Software*, 82, 7–20. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.04.011>
- Manuschevich, D. (2020). Land Use as a Socio-Ecological System: Developing a Transdisciplinary Approach to Studies of Land Use Change in South-Central Chile. In F. Fuders & P. J. Donoso (Eds.), *Ecological Economic and Socio Ecological Strategies for Forest Conservation* (pp. 79–97). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-35379-7_5
- Manuschevich, D., & Beier, C. M. (2016). Simulating land use changes under alternative policy scenarios for conservation of native forests in south-central Chile. *Land Use Policy*, 51, 350–362. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.08.032>
- Manuschevich, D., Sarricolea, P., & Galleguillos, M. (2019). Integrating socio-ecological dynamics into land use policy outcomes: A spatial scenario approach for native forest conservation in south-central Chile. *Land Use Policy*, 84, 31–42. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.01.042>
- Márquez, M. (1999). El ordenamiento territorial de los espacios rurales en Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 26, 113–118. <https://ojs.uc.cl/index.php/RGNG/article/view/42959>
- Márquez, M., & Veloso, E. (2020). El Ordenamiento Territorial En Chile: Estado Del Arte. *Revista Estado, Gobierno y Gestión Pública*, 35, 139–179.

- Martínez, P. (2019). Los espacios turísticos: Producción, experiencias e imaginarios. El caso de la Araucanía andino-lacustre chilena, 1900-1940. *Cuadernos de Turismo*, 44, 219–246. <https://doi.org/10.6018/turismo.44.404821>
- Meyer, W. B., & Turner, B. L. (1992). Human Population Growth and Global Land-Use/Cover Change. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 23, 39–61. <http://www.jstor.org/stable/2097281>
- Miranda, M., Flores, L., Reyes, S., Mashini, D., Misleh, D., & Bettancourt, P. (2015). Valorización de los vínculos urbanos, rurales y silvestres en la generación de instrumentos de planificación territorial integrada.
- Montalva, J. D. (2022, July 24). La pandemia y el teletrabajo produjeron una migración a suburbios que exige una nueva planificación suburbana. *Las Últimas Noticias*. <https://www.lun.com/Pages/NewsDetail.aspx?dt=2022-07-24&NewsID=494657&BodyID=0&Paginald=8>
- Moulds, S., Buytaert, W., & Mijic, A. (2015). An open and extensible framework for spatially explicit land use change modelling: The lulcc R package. *Geoscientific Model Development*, 8(10), 3215–3229. <https://doi.org/10.5194/gmd-8-3215-2015>
- Municipalidad de Curarrehue. (2018). Plan de desarrollo Comunal (PLADECO) de Curarrehue 2018-2022. <https://www.curarrehue.cl/pladeco.pdf>
- Munita, I. (2022a, 20 de julio). En medio de polémica: Los criterios instruidos por el SAG para suspender o rechazar parcelaciones rurales. *emol.com*. <https://www.emol.com/noticias/Economia/2022/07/20/1067479/instructivo-suspension-division-predios-agricultura.html>
- Munita, I. (2022b, 21 de diciembre). Escala conflicto por parcelaciones: Gremio Chile Rural pide orden de arresto contra ministro Valenzuela y funcionarios del SAG. *Emol*. <https://www.emol.com/noticias/Economia/2022/12/21/1081695/gremio-ordena-arresto-ministro-valenzuelapredios.html>
- Orellana, A., Arenas, F., & Moreno, D. (2020). Ordenamiento territorial en Chile: Nuevo escenario para la gobernanza regional. *Revista de geografía Norte Grande*, 77, 31–49. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022020000300031>

- Palacios-Agundez, I., Casado-Arzuaga, I., Madariaga, I., & Onaindia, M. (2013). The Relevance of Local Participatory Scenario Planning for Ecosystem Management Policies in the Basque Country, Northern Spain. *Ecology and Society*, 18(3), art7. <https://doi.org/10.5751/ES-05619-180307>
- Palacios-Agundez, I., Onaindia, M., Potschin, M., Tratalos, J. A., Madariaga, I., & Haines-Young, R. (2015). Relevance for decision making of spatially explicit, participatory scenarios for ecosystem services in an area of a high current demand. *Environmental Science & Policy*, 54, 199–209. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.07.002>
- Parenti, C. (2015). The 2013 ANTIPODE AAG Lecture The Environment Making State: Territory, Nature, and Value. *Antipode*, 47(4), 829–848. <https://doi.org/10.1111/anti.12134>
- Patel, M., Kok, K., & Rothman, D. S. (2007). Participatory scenario construction in land use analysis: An insight into the experiences created by stakeholder involvement in the Northern Mediterranean. *Land Use Policy*, 24(3), 546–561. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2006.02.005>
- Peck, J. (2001). Neoliberalizing states: Thin policies/hard outcomes. *Progress in Human Geography*, 25(3), 445–455. <https://doi.org/10.1191/030913201680191772>
- Peralta, C. (2017). Conflicto etno-ambiental en el marco de la Consulta Indígena: Caso Central Hidroeléctrica Añiherraquí, Curarrehue. *Revista Estudios de Políticas Públicas*, 3(2), 161–178. <https://doi.org/10.5354/0719-6296.2017.47756>
- Pereira, P. (2020). Ecosystem services in a changing environment. *Science of The Total Environment*, 702, 135008. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135008>
- Pontius, R. G., & Schneider, L. C. (2001). Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 85(1–3), 239–248. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00187-6](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00187-6)
- Popp, A., Calvin, K., Fujimori, S., Havlik, P., Humpeñöder, F., Stehfest, E., Bodirsky, B. L., Dietrich, J. P., Doelmann, J. C., Gusti, M., Hasegawa, T.,

- Kyle, P., Obersteiner, M., Tabeau, A., Takahashi, K., Valin, H., Waldhoff, S., Weindl, I., Wise, M., ... Vuuren, D. P. V. (2017). Land-use futures in the shared socio-economic pathways. *Global Environmental Change*, 42, 331–345. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.10.002>
- Precht, A., Reyes, S., & Salamanca, C. (2016). *El ordenamiento territorial de Chile*. Ediciones UC.
- Priess, J. A., & Hauck, J. (2014). Integrative Scenario Development. *Ecology and Society*, 19(1), art12. <https://doi.org/10.5751/ES-06168-190112>
- Priess, J. A., Hauck, J., Haines-Young, R., Alkemade, R., Mandryk, M., Veerkamp, C., Gyorgyi, B., Dunford, R., Berry, P., Harrison, P., Dick, J., Keune, H., Kok, M., Kopperoinen, L., Lazarova, T., Maes, J., Pataki, G., Preda, E., Schleyer, C., ... Zulian, G. (2018). New EU-scale environmental scenarios until 2050 – Scenario process and initial scenario applications. *Ecosystem Services*, 29, 542–551. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.08.006>
- Primmer, E., Jokinen, P., Blicharska, M., Barton, D. N., Bugter, R., & Potschin, M. (2015). Governance of Ecosystem Services: A framework for empirical analysis. *Ecosystem Services*, 16, 158–166. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.05.002>
- Sahin, V., & Hall, M. J. (1996). The effects of afforestation and deforestation on water yields. *Journal of Hydrology*, 178(1–4), 293–309. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(95\)02825-0](https://doi.org/10.1016/0022-1694(95)02825-0)
- Salazar, O., Casanova, M., Fuentes, J. P., Galleguillos, M., Nájera, F., Perez-Quezada, J. F., Pfeiffer, M., Renwick, L. L. R., Seguel, O., & Tapia, Y. (2022). Soil research, management, and policy priorities in Chile. *Geoderma Regional*, 29, e00502. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2022.e00502>
- Sepúlveda, C., Moreira, A., & Villarroel, P. (1997). Conservación biológica fuera de las áreas silvestres protegidas. *Ambiente y Desarrollo*, 13(2), 48–58. <https://www.researchgate.net/publication/242209160>
- Sepúlveda-Varas, A., Saavedra-Briones, P., & Esse, C. (2019). Análisis de cambio de cobertura y uso de suelo en una subcuenca preandina chilena. Herramienta para la sustentabilidad productiva de un territorio. *Revista de*

geografía Norte Grande, 72, 9–25. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022019000100009>

- Stephens, L., Fuller, D., Boivin, N., Rick, T., Gauthier, N., Kay, A., Marwick, B., Armstrong, C. G., Barton, C. M., Denham, T., Douglass, K., Driver, J., Janz, L., Roberts, P., Rogers, J. D., Thakar, H., Altaweel, M., Johnson, A. L., Sampietro Vattuone, M. M., ... Ellis, E. (2019). Archaeological assessment reveals Earth's early transformation through land use. *Science*, 365(6456), 897–902. <https://doi.org/10.1126/science.aax1192>
- Subsecretaría de Turismo. (2016). Diagnóstico Base, Propuesta de Acuerdo de Producción Limpia y Plan de Acción ZOIT AMTL. Plan Acción ZOIT Lacustre. (p. 42). Subsecretaría de Turismo, Gobierno de Chile. <http://www.subturismo.gob.cl/wp-content/uploads/2015/10/PLAN-DE-ACCION-ZONA-LACUSTRE.pdf>
- Swart, R. J., Raskin, P., & Robinson, J. (2004). The problem of the future: Sustainability science and scenario analysis. *Global Environmental Change*, 14(2), 137–146. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2003.10.002>
- Tecklin, D., Bauer, C., & Prieto, M. (2011). Making environmental law for the market: The emergence, character, and implications of Chile's environmental regime. *Environmental Politics*, 20(6), 879–898. <https://doi.org/10.1080/09644016.2011.617172>
- Thompson, J. R., Wiek, A., Swanson, F. J., Carpenter, S. R., Fresco, N., Hollingsworth, T., Spies, T. A., & Foster, D. R. (2012). Scenario Studies as a Synthetic and Integrative Research Activity for Long-Term Ecological Research. *BioScience*, 62(4), 367–376. <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.4.8>
- Turner, B., Geoghegan, J., Lawrence, D., Radel, C., Schmook, B., Vance, C., Manson, S., Keys, E., Foster, D., Klepeis, P., Vester, H., Rogan, J., Roy Chowdhury, R., Schneider, L., Dickson, R., & Ogenva-Himmelberger, Y. (2016). Land system science and the social–environmental system: The case of Southern Yucatán Peninsular Region (SYPR) project. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 19, 18–29. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.08.014>

- Vaccaro, I., & Beltran, O. (Eds.). (2010). *Social and ecological history of the Pyrenees: State, market, and landscape*. Left Coast Press.
- Van Vliet, J., Bregt, A. K., & Hagen-Zanker, A. (2011). Revisiting Kappa to account for change in the accuracy assessment of land-use change models. *Ecological Modelling*, 222(8), 1367–1375.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.01.017>
- Van Vliet, J., Hagen-Zanker, A., Hurkens, J., & Van Delden, H. (2013). A fuzzy set approach to assess the predictive accuracy of land use simulations. *Ecological Modelling*, 261–262, 32–42.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.03.019>
- Veldkamp, A., & Fresco, L. O. (1996). CLUE-CR: An integrated multi-scale model to simulate land use change scenarios in Costa Rica. *Ecological Modelling*, 91(1–3), 231–248. [https://doi.org/10.1016/0304-3800\(95\)00158-1](https://doi.org/10.1016/0304-3800(95)00158-1)
- Verburg, P. (2006). *DynaCLUE Manual [Computer software]*. Department of Environmental Sciences, Wageningen University.
http://environmentalgeography.nl/files/data/public/dynaclue_help
- Verburg, P. H., Alexander, P., Evans, T., Magliocca, N. R., Malek, Z., Rounsevell, M. D., & Van Vliet, J. (2019). Beyond land cover change: Towards a new generation of land use models. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 38, 77–85.
<https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.05.002>
- Verburg, P. H., De Koning, G. H. J., Kok, K., Veldkamp, A., & Bouma, J. (1999). A spatial explicit allocation procedure for modelling the pattern of land use change based upon actual land use. *Ecological Modelling*, 116(1), 45–61.
[https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(98\)00156-2](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(98)00156-2)
- Verburg, P. H., & Overmars, K. P. (2009). Combining top-down and bottom-up dynamics in land use modeling: Exploring the future of abandoned farmlands in Europe with the Dyna-CLUE model. *Landscape Ecology*, 24(9), 1167–1181. <https://doi.org/10.1007/s10980-009-9355-7>
- Verburg, P. H., Soepboer, W., Veldkamp, A., Limpiada, R., Espaldon, V., & Mastura, S. S. A. (2002). *Modeling the Spatial Dynamics of Regional Land*

Use: The CLUE-S Model. *Environmental Management*, 30(3), 391–405.
<https://doi.org/10.1007/s00267-002-2630-x>

Vergara, J. I., Foerster, R., & Gundermann, H. (2005). Instituciones mediadoras, legislación y movimiento indígena de Dasin a Conadi (1953-1994). *Atenea* (Concepción), 491. <https://doi.org/10.4067/S0718-04622005000100006>

Vörösmarty, C. J., Green, P., Salisbury, J., & Lammers, R. B. (2000). Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth. *Science*, 289(5477), 284–288.
<https://doi.org/10.1126/science.289.5477.284>

Whitehead, M., Jones, R., & Jones, M. (2007). *The nature of the state: Excavating the political ecologies of the modern state*. Oxford University Press.

Zhao, Y., Feng, D., Yu, L., Wang, X., Chen, Y., Bai, Y., Hernández, H. J., Galleguillos, M., Estades, C., Biging, G. S., Radke, J. D., & Gong, P. (2016). Detailed dynamic land cover mapping of Chile: Accuracy improvement by integrating multi-temporal data. *Remote Sensing of Environment*, 183, 170–185. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.05.016>

Zhou, J. (2022). Naturalizing the state and symbolizing power in Russian agricultural land use. *Political Geography*, 93, 102545.
<https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2021.102545>

Zunino, H. M., & Hidalgo, R. (2010). En busca de una utopía verde: Migrantes de amenidad en la Comuna de Pucón, IX región de la Araucanía, Chile. *Scripta Nova*, 14(331(75)). <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-331/sn-331-75.htm>

Descargo de responsabilidad/Nota del editor: Las declaraciones, opiniones y datos contenidos en todas las publicaciones pertenecen exclusivamente a los autores y contribuyentes individuales y no a MDPI y/o a los editores. MDPI y/o el(los) editor(es) declinan toda responsabilidad por cualquier daño a personas o propiedad que resulte de cualquier idea, método, instrucción o producto mencionado en el contenido.

Epílogo

Esta investigación de Tesis es parte del Proyecto de Colaboración Internacional (PCI) llamado "Gestión de los impactos del cambio global en los extremos hidrológicos a través de la integración de datos satelitales y un enfoque de modelación interdisciplinaria" (NSFC190018), que surge bajo el Acuerdo de Cooperación entre la Fundación de Ciencias Naturales de China (NSFC), y la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT) de Chile. El seudónimo del proyecto CHI2 hace referencia a la similitud en el inicio de los nombres de los dos países involucrados en el proyecto y debido a una prueba estadística llamada chi-cuadrado para determinar la diferencia entre los datos observados y los esperados. El proyecto CHI2 examina el futuro de la escorrentía en 8 cuencas hidrográficas, 4 en Chile y 4 en China, considerando los efectos del cambio climático y centrándose en los extremos hidrológicos. Dado que estos ecosistemas se enfrentan a diferentes retos medioambientales influidos por factores socioeconómicos, se sugiere un enfoque integrado para captar la influencia combinada del clima, el cambio de uso de suelo y cobertura, y otros cambios provocados por la humanidad en la escorrentía. Una comprensión exhaustiva de los mecanismos subyacentes es crucial para desarrollar estrategias de gestión eficaces y políticas de mitigación que puedan preparar a la sociedad para los impactos del cambio global en las próximas décadas. Esta investigación se enfoca en el modelamiento de cambio de uso de suelo y cobertura de la cuenca del río Trancura antes de Llafenco.

A partir de su condición anidada, esta investigación inicialmente es gatillada por dos premisas que nacen del Proyecto de Colaboración internacional. La primera consiste en abordar la condición interdisciplinaria de producir escenarios de cambio de uso de suelo y cobertura en el que pudieran vincularse directamente con modelos hidrológicos y que fueran sensibles a su contexto. Desde ahí su metodología mixta que combina entrevistas con clasificación de usos del suelo espacialmente explícita. La segunda premisa se centró en integrar el comportamiento de la gestión del Estado en la tendencia de cambio del uso del suelo. Aunque, CHI2 no se enmarca explícitamente en la comprensión de las dinámicas del Estado, el título enfocado en la gestión se orienta implícitamente a este actor fundamental en la gestión del suelo.

En este contexto, se hacen necesarias algunas aclaraciones cuando la modalidad de tesis inscrita en el programa de Magíster en Geografía es un artículo para ser publicado en una revista. Inicialmente, esta tesis fue originalmente escrita en inglés y luego traducida para envío a la revista LAND, bajo el nombre de "Land management drifted. Land use scenario modeling of Trancura River Catchment, Araucanía, Chile". Además, al estar embebida en un proyecto más grande, conformado por varios investigadores y en este caso, más específicamente, corresponde al equipo de cambio de uso de suelo y cobertura, es que el estudio tiene más autores. En este artículo, además de la profesora guía se incluyen al tesista Aaron Grau y al director del proyecto Mauricio Zambrano-Bigiarini, cuya participación se indica en la sección de contribución de los autores. En la práctica, esto significó que, si bien conté con el apoyo constante de las personas antes mencionadas, la investigación fue desarrollada íntegramente por mí en lo que respecta a los fines del programa de magíster. Relacionado con lo anterior, es también importante declarar que algunos materiales fundamentales para la tesis no fueron desarrollados por mí como el autor principal y fueron proporcionados por CHI2, los cuales se describen a continuación. Primero las cartografías observadas y clasificadas de

la cuenca del Río Trancura antes de Llafenco fueron proporcionadas por el proyecto con 14 clases de usos de suelo y cobertura a una resolución 30-metros. Segundo, las cartografías procesadas correspondientes a la Densidad Aparente Promedio del suelo y la línea de nieve, las cuales forman parte de factores explicativos de cambio. Tercero y final, el desarrollo de la estructura y recolección de librerías y códigos en el lenguaje de programación “R” montados en R Studio, es una contribución de Aaron Grau quien de forma eficiente logró sintetizar la experiencia acumulada por la Dra. Daniela Manushevich.