



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
INGENERÍA EN CONSERVACIÓN DE RECURSOS NATURALES

**PRIORIZACIÓN ESPACIAL PARA LA IDENTIFICACIÓN DE SITIOS DE ALTA
PROVISIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LA PROVINCIA DE
LINARES, REGIÓN DEL MAULE**

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de
Concepción para otorgar al título profesional de Ingeniero en Conservación de
Recursos Naturales

POR: Alvaro Ignacio Ruiz Benitez

Profesor Guía: Cristian Mauricio Echeverría Leal

Marzo, 2024

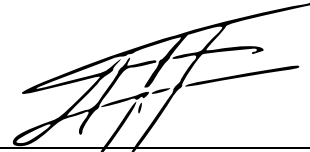
Concepción, Chile

© 2024, Alvaro Ignacio Ruiz Benitez

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento

PRIORIZACIÓN ESPACIAL PARA LA IDENTIFICACIÓN DE SITIOS DE ALTA
PROVISIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LA PROVINCIA DE
LINARES, REGIÓN DEL MAULE

Profesor Guía

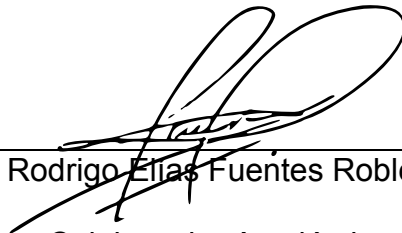


Cristian Mauricio Echeverría Leal

Profesor Titular

Ingeniero Forestal, Ph.D.

Profesor Guía



Rodrigo Elías Fuentes Robles

Colaborador Académico

Ingeniero forestal, Mag.

Profesora Guía



Paula Meli

Profesora Asistente

Ecología, Conservación y Restauración de
Ecosistemas, Dra.

DEDICATORIA

A mi madre, Marioly, por cultivar en mí, buenos valores y hábitos sanos, por entregarme las herramientas, la educación y las oportunidades que me permiten hoy estar donde estoy, y por querer y apoyarme en mis procesos de manera incondicional.

A mi sobrina, Renata, por mostrarme que la vida es un regalo, por recordarme lo que es el amor sincero y por enseñarme que la sabiduría de las niñeces es un tesoro.

A mi abuelo, Máximo, q.e.p.d. por ser mi fuente de inspiración, por mostrarme la puerta de entrada al mundo de la conservación y por guiar mi mirada hacia el libro que siempre está abierto para todos los ojos: la naturaleza.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, Marioly, Javier y Renata, por ser mi soporte y por ayudarme a mantener mi convicción.

A María José, por mostrarme una forma única de ver la vida, por alegrar mis días, por su cariño y apoyo emocional.

A mis amigos y amigas, por estar presentes en las buenas y en las malas, por apoyarme en mis decisiones, por tantos bonitos recuerdos y andanzas.

Al equipo del Laboratorio de Ecología del Paisaje, por la disposición a compartir su conocimiento, las salidas a terreno, las charlas y el trabajo hecho, en especial a Silvana que fue mi guía y aportó un montón en mi crecimiento profesional.

A mis profesores guía, Paula y Rodrigo por su sabiduría, disponibilidad y paciencia, en especial al profesor Cristian, por confiar en mí y brindarme la oportunidad de surgir profesionalmente.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiv
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Cambio ambiental global	1
1.2. Servicios ecosistémicos	3
1.3. Sustentabilidad	5
1.4. Planificación sistemática para la conservación	7
II. METODOLOGÍA	12
2.1. Descripción del área de estudio	12
2.2. Actualización de coberturas y usos de suelo	14
2.3. Mapeo de capacidad de provisión de servicios ecosistémicos	23
2.4. Percepciones de actores sociales sobre la relación entre el bienestar humano y la naturaleza	29
2.5. Identificación de sitios de alta provisión de múltiples servicios ecosistémicos	33
III. RESULTADOS	35
3.1. Actualización de coberturas y usos de suelo	35
3.2. Mapeo de capacidad de provisión de servicios ecosistémicos	38
3.3. Percepciones de actores sociales sobre servicios ecosistémicos más esenciales para las personas de la provincia de Linares	48
3.4. Priorización espacial de servicios ecosistémicos	54
IV. DISCUSIÓN	59
4.1. Zonas prioritarias de SE	59
4.2. Implicancias para la conservación	60
4.3. Limitaciones del estudio	62
4.4. Recomendaciones	63
V. CONCLUSIONES	65
VI. GLOSARIO	66
VII. BIBLIOGRAFÍA	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Inventario de datos geoespaciales colectados.....	16
Tabla 2. Coberturas y usos de suelo 2023 originales y sus respectivas superficies.	17
Tabla 3. Adecuación de coberturas y usos de suelo presentes en el área de estudio respecto a su código asociado al proyecto.....	18
Tabla 4. Niveles de severidad de incendios y umbrales propuestos por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés). Adaptado al español.	23
Tabla 5. Indicadores de servicios ecosistémicos utilizados en el estudio de Echeverría et al. (2018).	25
Tabla 6. Matriz de valores de capacidad de provisión de los servicios ecosistémicos para cada cobertura y uso de suelo. Fuente: Proyecto FONDECYT 1231230.	27
Tabla 7. Tipos de actores sociales según Burkhard and Maes (2017)	33
Tabla 8. Superficie de las coberturas y usos de suelo de la provincia de Linares actualizados al 2023. Fuente: Elaboración propia.	36
Tabla 9. Ponderación combinada para cada servicio ecosistémico resultante de la encuesta.....	54

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Ubicación del área de estudio correspondiente a la provincia de Linares y sus comunas.....	14
Figura 2. Ecuaciones para el cálculo de los índices NBR y dNBR. Adaptado de Sánchez et al. (2023).....	21
Figura 3. Vista general de la encuesta de percepción de la relación entre bienestar humano y la naturaleza en la provincia de Linares, región del Maule.	31
Figura 4. Vista general de matriz de SE y escala Likert.....	32
Figura 5. Coberturas y usos de suelo de la provincia de Linares actualizados al 2023. Fuente: elaboración propia.	36
.....	39
Figura 6. Capacidad de provisión del servicio ecosistémico de regulación del clima. Fuente: Elaboración propia.....	39
Figura 7. Capacidad de provisión del servicio ecosistémico de control de erosión. Fuente: Elaboración propia.....	40
Figura 8. Capacidad de provisión del servicio ecosistémico de mantención de flujos de agua. Fuente: Elaboración propia.....	41
Figura 9. Capacidad de provisión del servicio ecosistémico de condición química de agua para beber. Fuente: Elaboración propia.....	42
Figura 10. Capacidad de provisión del servicio ecosistémico de regulación del clima mediante la reducción de las concentraciones de gases de efecto invernadero. Fuente: Elaboración propia.	43
Figura 11. Capacidad de provisión del servicio ecosistémico de plantas cultivadas. Fuente: Elaboración propia.	44
.....	45
Figura 12. Capacidad de provisión del servicio ecosistémico de producción de celulosa. Fuente: Elaboración propia.....	45
Figura 13. Capacidad de provisión del servicio ecosistémico de producción de madera aserrada. Fuente: Elaboración propia.....	46
Figura 14. Capacidad de provisión del servicio ecosistémico de producción de leña. Fuente: Elaboración propia.	47

Figura 15. Capacidad de provisión del servicio ecosistémico de entretenimiento. Fuente: Elaboración propia.....	48
Figura 16. Representatividad de personas encuestas. (a) Representatividad comunal. (b) Representatividad de tipos de actores sociales. (c) Representatividad de rangos de edad.	50
Figura 17. Frecuencia porcentual de los niveles de importancia de la escala <i>Likert</i> para los servicios ecosistémicos de regulación. (a) Control de erosión. (b) Regulación del clima. (c) Regulación del clima mediante la reducción de las concentraciones de gases de efecto invernadero. (d) Condición química de agua para beber. (e) Mantención de flujos de agua.	51
Figura 18. Frecuencia porcentual de los niveles de importancia de la escala <i>Likert</i> para los servicios ecosistémicos de provisión. (a) Plantas cultivadas. (b) Producción de madera aserrada. (c) Producción de leña. (d) Producción de celulosa.....	52
Figura 19. Frecuencia porcentual de los niveles de importancia de la escala <i>Likert</i> para el servicio ecosistémico cultural de entretenimiento.	53
.....	56
Figura 20. Priorización espacial de múltiples servicios ecosistémicos en la provincia de Linares (Sin ponderar).	56
.....	58
Figura 21. Priorización espacial de múltiples servicios ecosistémicos en la provincia de Linares (Ponderada por sus habitantes).....	58

RESUMEN

El Antropoceno, caracterizado por cambios ambientales globales, como el cambio de uso y coberturas de suelo o el cambio climático, contribuye a la pérdida de biodiversidad. El concepto de servicios ecosistémicos permite comprender más en profundidad la relación humano-naturaleza, por ende, su cuantificación y mapeo es imprescindible para desarrollar estrategias de gestión y conservación de la biodiversidad a distintas escalas, de la mano de herramientas que posibiliten evaluaciones multicriterio. Actualmente, Chile carece de líneas base oficiales en materias de valoración ciudadana de servicios ecosistémicos. Al mismo tiempo, el valle central del Maule está dominado por paisajes antrópicos y degradados. En consecuencia, el objetivo del estudio fue identificar sitios de alta provisión de servicios ecosistémicos en la provincia de Linares. Los métodos consistieron en actualizar sus coberturas al 2023, mapear la capacidad de provisión de 10 servicios ecosistémicos, generar una encuesta de percepción de la relación bienestar humano - naturaleza para ponderar los servicios, y finalmente, priorizarlos espacialmente con y sin ponderar. Los resultados mostraron que la regulación de caudal y de calidad de agua son los servicios ecosistémicos más esenciales para el bienestar de las personas y que los sitios de alta provisión de servicios ecosistémicos se ubican principalmente en la zona precordillerana del área de estudio. Se concluyó que el estudio representa una contribución directa a la sustentabilidad del territorio, destacando que los bosques nativos y los

cuerpos de agua merecen especial consideración en políticas públicas para garantizar la provisión continua de múltiples servicios ecosistémicos en el largo plazo.

ABSTRACT

The Anthropocene, characterized by global environmental changes such as land use and land cover change or climate change, contributes to biodiversity loss. The concept of ecosystem services allows for a deeper understanding of the human-nature relationship; therefore, its quantification and mapping are essential for developing management and conservation strategies for biodiversity at different scales, alongside tools that enable multicriteria assessments. Currently, Chile lacks official baseline data on citizen valuation of ecosystem services. At the same time, the central valley of Maule is dominated by anthropogenic and degraded landscapes. Consequently, the study aimed to identify sites of high provision of ecosystem services in the Linares province. The methods consisted of updating land cover to 2023, mapping the provisioning capacity of 10 ecosystem services, generating a survey on human-nature well-being perception to weigh the services, and finally, spatially prioritizing them with and without weighting. The results showed that flow regulation and water quality regulation are the most essential ecosystem services for human well-being, and that sites with high provision of ecosystem services are mainly located in the pre-Andean zone of the study area. It was concluded that the study represents a direct contribution to the sustainability of the territory, emphasizing that native forests and water bodies deserve special consideration in public policies to ensure the continuous provision of multiple ecosystem services in the long term.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Cambio ambiental global

El sistema terrestre está entrando en una nueva época llamada el “Antropoceno”, caracterizado por importantes impactos ambientales globales (Steffen et al., 2021; Vince, 2011). Estos impactos son originados por impulsores como el cambio climático (CC), el cambio en el uso de tierras y mares, la sobreexplotación de recursos, la contaminación y las especies exóticas invasoras (Watson et al., 2019). Estos impulsores han transformado una gran proporción del sistema terrestre, a través de acciones como, la deforestación, la producción agrícola o la expansión urbana. A su vez, la población mundial y los avances tecnológicos han aumentado exponencialmente y estimulan estos impulsores y sus problemas ambientales asociados, como la pérdida de biodiversidad y la degradación de los ecosistemas (Echeverria et al., 2006; Foley et al., 2005; Wu, 2013). Diferentes modelos globales de los escenarios de uso del suelo proyectan una disminución del área forestal global en las décadas futuras (Pereira et al., 2010).

Entre los muchos factores de cambio global que contribuyen a las transiciones de los ecosistemas, el CC tiene especial probabilidad de empujar a los ecosistemas más allá de los umbrales (Grimm et al., 2013), ya que es una alteración peligrosa y generalizada en la naturaleza que afecta la vida de miles

de millones de personas en todo el mundo (Pörtner et al., 2022). El CC representa un impulsor directo que cada vez está agravando más el impacto de otros impulsores en la naturaleza y el bienestar humano (BH) (Watson et al., 2019). En este sentido, el CC puede traer consigo efectos negativos riesgosos sobre las funciones del ecosistema y su capacidad de proveer bienes y servicios (Pereira et al., 2010; Scholes, 2016; Whitehead et al., 2009). En Chile, se modeló el comportamiento futuro de diversas especies en ecosistemas terrestres frente a escenarios de cambio climático y su distribución proyectada se reduciría considerablemente (MMA, 2019), esto hace imprescindible buscar enfoques que permitan la adaptación de los ecosistemas naturales y las sociedades humanas al CC, como el de “soluciones basadas en la naturaleza” (SbN) (Pörtner et al., 2022). Las SbN, según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) se definen como “acciones para proteger, gestionar de manera sostenible y restaurar ecosistemas naturales o modificados, que aborden de manera efectiva y adaptable los desafíos sociales, proporcionando al mismo tiempo beneficios para el BH y la biodiversidad” (Cohen-Shacham et al., 2016). Instrumentos de política pública asociados a la implementación del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático y sus planes sectoriales han incorporado objetivos de biodiversidad en para abarcar estas problemáticas (MMA, 2019).

Por otro lado, alrededor de la mitad de la superficie terrestre libre de hielo de la Tierra ha sido transformada (Haberl et al., 2007; Vitousek et al., 1997), se percibe

que aproximadamente el 40% de la superficie terrestre se dedica a la agricultura (Foley et al., 2005), los usos de la tierra utilizan entre el 10% y el 50% de la productividad primaria neta terrestre (Rojstaczer et al., 2001). Conforme con ello, algunos estudios enfocados en la ciencia del cambio de suelo (CCS) (Gutman et al., 2004; Reenberg, 2006) afirman que el cambio de uso del suelo se ha convertido en un agente forzante del cambio climático regional y global; en otras palabras, están estrechamente ligados. Dos de sus impactos más directos y evidentes son la pérdida de la biodiversidad y la fragmentación de hábitats, los cuales son estimulados por la transformación de las coberturas naturales a distintos niveles (Aguayo et al., 2009; Wu, 2021). Ante esto, estudios recientes muestran como la pérdida de hábitat para biodiversidad está fuertemente vinculada a la pérdida en la provisión de servicios ecosistémicos (Rodríguez-Echeverry et al., 2018).

1.2. Servicios ecosistémicos

Un concepto fundamental es de servicios ecosistémicos (SE), los cuales se definen como las contribuciones que hace la naturaleza al bienestar humano (Haines-Young & Potschin, 2010). El concepto se remonta a la década de los 70s (de Groot et al., 2010), tuvo un boom científico después de 1990 (De Groot, 1992; Wallace, 2007), pero no fue hasta la valuación de los ecosistemas del milenio donde se popularizó a nivel mundial (MEA, 2003, 2005). Los SE brindan la

posibilidad de comprender más en profundidad la relación entre los seres humanos y el medio ambiente, y es aumentada gracias al desarrollo de diversos marcos, tales como La Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad (TEEB, 2010), la iniciativa de mapeo y evaluación de los ecosistemas y sus servicios (MAES) (Maes et al., 2013), la Plataforma Intergubernamental sobre diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES) (Díaz et al., 2015), la cascada de servicios ecosistémicos (Haines-Young & Potschin, 2010), entre muchos otros. Este último, establece cuáles son los elementos clave del paradigma de los servicios ecosistémicos, definiendo los conceptos de "función", "servicio" y "beneficio" (Burgi et al., 2015; Potschin-Young et al., 2018), estos causan debate en relación a cómo distinguirlos entre si (Balmford et al., 2008). Sin embargo, el marco de la Contabilidad de Ecosistemas del Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica (SCAE) busca la integración de todos estos elementos y aspectos del enfoque ecológico, además de conjugarlos con el enfoque económico y sus sistemas de contabilidad, a través del registro sistemático de datos, tanto sobre la extensión y la condición de los ecosistemas, como de flujo de SE (ONU, 2021).

El SCAE define un SE como las contribuciones de los ecosistemas a los beneficios que se utilizan en las actividades económicas y otras actividades humanas (ONU, 2021). Por otro lado, la Clasificación Internacional Común de Servicios Ecosistémicos (CICES) V5.1. categoriza y describe los SE abarcando las necesidades de mapeo, valoración y contabilidad de los servicios

ecosistémicos (Haines-Young & Potschin, 2018). Estas necesidades en conjunto con el cambio ambiental global y la sustentabilidad, se les ha prestado cada vez más atención, ya que aportan en la entrega de información que facilita la toma de decisiones (Reynolds et al., 2007). Los servicios ecosistémicos se basan en esquemas muy complejos de interacciones ecológicas con interdependencias mutuas muy altas, es por esto, que hay autores como Burkhard and Maes (2017) que brindan un enfoque que busca optimizar el mapeo de la provisión de múltiples servicios ecosistémicos para garantizar el funcionamiento de los ecosistemas a largo plazo.

1.3. Sustentabilidad

Un concepto interesante que emerge en la últimas décadas es la sustentabilidad (Musacchio, 2011), el cual pretende mejorar la comprensión de los procesos de cambio en el uso de suelo y dar paso al desarrollo de estrategias de gestión y conservación según el grado de alteración del paisaje (Liu & Taylor, 2002; McIntyre & Hobbs, 1999). Ahora bien, para poder dimensionar la relación entre los distintos elementos del paisaje, es necesario entender la “ciencia de la sustentabilidad del paisaje” (CSP), la cual busca comprender y mejorar la relación dinámica entre los SE y el bienestar humano (BH) mediante métodos explícitos en el espacio (Wu, 2013). La CSP resulta de la integración entre la ecología de paisaje, la ciencia de la sustentabilidad y el marco de SE – BH, y en este contexto,

el llamado “enfoque integrado del paisaje” (EIP) merece especial atención (Wu, 2021). El EIP es una estrategia de gobernanza que intenta conciliar múltiples demandas de uso de la tierra para armonizar las necesidades de las personas y el medioambiente, y establecer paisajes multifuncionales más sostenibles y equitativos (Reed et al., 2020).

Este enfoque surgió al reconocer que los enfoques sectoriales no eran suficientes para abordar problemas complejos como la inseguridad alimentaria, la pérdida de biodiversidad y el cambio climático (Wu, 2021). En Chile, varios instrumentos de política han incorporado un “enfoque ecosistémico” en su diseño, un ejemplo, la Política Nacional de Ordenamiento Territorial (2018). Se han oficializado varios Planes de Recuperación, Conservación y Gestión (RECOGE) para disminuir la probabilidad de extinción de especies en peligro, como es el caso de *Nothofagus alessandrii* (Espinosa, 1928) (MMA, 2019). Incluso, se cuenta con la promulgación de la ley de la naturaleza, que crea el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas (SBAP) y el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) (MMA, 2023). Sin embargo, aún se evidencian un sinnúmero de desafíos y brechas por abordar, principalmente en la implementación de políticas públicas multisectoriales (MMA, 2019).

1.4. Planificación sistemática para la conservación

Un concepto clave es la planificación sistemática para la conservación (PSC), el cual es un enfoque estructurado y multidisciplinario que refiere a la priorización de sitios por su valor de biodiversidad a través de la planificación participativa y la implementación colaborativa de estrategias, decisiones y acciones (Kukkala & Moilanen, 2013), para asegurar la representatividad de la diversidad biológica en distintos niveles de organización y la persistencia a largo plazo de diversos procesos naturales asociados a los ecosistemas (Margules & Pressey, 2000). La PSC es un modelo operativo por etapas que ha evolucionado al pasar los años (Kukkala & Moilanen, 2013), a partir de herramientas computacionales y algoritmos simples (Lehtomäki & Moilanen, 2013). Plantea la eficiencia en el uso de recursos limitados para alcanzar objetivos explícitos de conservación (Margules & Pressey, 2000), donde los análisis espaciales brindan apoyo para la toma de decisiones del mundo real (Pullin et al., 2004; Wilson et al., 2006). Dentro de la PSC, existe una actividad fundamental llamada priorización espacial de la conservación, que intenta definir dónde, cuándo y cómo se podrían lograr eficientemente objetivos de conservación (Kukkala & Moilanen, 2013; Pressey et al., 2007). Estudios relacionados al uso del *software Zonation* muestran que la priorización espacial es aplicable a distintas escalas y es flexible respecto a la incertidumbre ecológica y las ponderaciones de prioridad para apoyar la toma de decisiones, ideal para considerar variadas perspectivas y planear escenarios

asociados a límites administrativos (Lehtomäki & Moilanen, 2013; Moilanen & Arponen, 2011).

Los conceptos y marcos teóricos abarcados con anterioridad permiten el desarrollo de enfoques de planificación del paisaje basada en SE, tal como el de von Haaren et al. (2019). La planificación del paisaje se define como una acción proactiva para mejorar, restaurar y crear paisajes (Council, 2000), ayuda a superar esfuerzos fragmentados relacionados a la conservación de la biodiversidad y los SE en diferentes sectores y niveles de toma de decisiones (Selman, 2010). El enfoque de von Haaren et al. (2019) comprende el desarrollo de perspectivas multifuncionales, intersectoriales y transdisciplinarias en la planificación del paisaje, y sirve tanto como una fuente integrada de información, como para proporcionar orientación estratégica para el desarrollo de paisaje. La planificación del paisaje puede contribuir a minimizar conflictos y proporcionar soluciones si se basa en datos ecológicos sólidos (von Haaren et al., 2019).

Actualmente, Chile carece de una línea base en materias sobre el grado de valoración ciudadana de la importancia de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos; es decir, no presenta evaluaciones oficiales, exhaustivas o de alcance nacional. Conforme a ello, es vital integrar el cambio climático y otros factores en las evaluaciones de la provisión de servicios ecosistémicos, considerando que la cuantificación servicios ecosistémicos es uno de los

mayores desafíos de la ciencia ecológica actual (Runting et al., 2017; Wallace, 2007). Ante esto, el desafío ahora radica en asegurarse de que los datos disponibles se integren de maneras apropiadas para garantizar que la base de datos resultante sea lo más adecuada posible para el propósito previsto (von Haaren et al., 2019).

Si se desea mapear la provisión u oferta de uno o varios SE, hay que considerar que, la oferta de un servicio ecosistémico se asocia con una estructura o un proceso del ecosistema, o con una combinación de dichas estructuras y procesos que refleje las interacciones biológicas, químicas y físicas entre los componentes del ecosistema (Potschin & Haines-Young, 2017), y es importante tener en cuenta que cualquier representación de características del mundo real en una base de datos SIG es probable que involucre cierta incertidumbre, tanto en términos de información posicional (por ejemplo, límites de un área) como en atributos (por ejemplo, características de un área), es decir, existe incertidumbre inherente debido a transiciones graduales en lugares de límites definidos (Longley et al., 2015). Considerando esto, se torna un reto evaluar las relaciones entre los patrones espaciales del paisaje y los procesos humanos (Echeverría et al., 2012; Liu & Taylor, 2002). Desafortunadamente, existe una relevante falta de información para la toma de decisiones a escala local (Turner & Daily, 2008), la planificación del paisaje al abarcar múltiples SE puede ser vista como una

herramienta integradora de objetivos ambientales y económicos mediante el uso del concepto de SE (von Haaren et al., 2019).

Para establecer el concepto de SE a nivel local o regional, son necesarios proyectos compartidos con científicos, profesionales y el público, ya que los SE abarcan todas las formas de interacción entre los ecosistemas y las personas, y la inclusión se vuelve crucial para validar las propuestas de planificación del paisaje (ONU, 2021; von Haaren et al., 2019).

A escala nacional, Chile es especialmente vulnerable al CC, ya que cumple con siete de las nueve características de vulnerabilidad definidas por la Convención de Diversidad Biológica (CDB), de las cuales solo dos corresponden al contexto ecosistémico, poseer zonas áridas y semiáridas, zonas con cobertura forestal y zonas expuestas al deterioro forestal; y poseer ecosistemas frágiles, incluidos los ecosistemas montañosos (MMA, 2019). En este lineamiento, el clima y el suministro de SE comparten una sensibilidad a la fluctuación de los impulsores de cambio (Scholes, 2016). Por su parte, las tendencias de cambio de uso de suelo en Chile indican la reducción de bosques semi-áridos, la conversión de matorrales a tierras de cultivo, la cosecha de bosque nativo, la habilitación de suelos para plantaciones forestales, lo que acota la vegetación nativa a relictos y cerros islas (MMA, 2019). En la zona del valle central en la Región del Maule, está dominada por cultivos, un paisaje antrópico y degradado que provienen de

una serie de cambios de uso de suelo, con escasos esfuerzos de conservación y restauración (Mancilla Ruiz et al., 2022). Asimismo, La precordillera de Linares se encuentra dentro de uno de los *hotspots* mundiales de biodiversidad llamado “*Chilean winter rainfall-Valdivian forests*” (Arroyo et al., 2006), el cual es una región con prioridad mundial para la conservación, por su alto grado de endemismo (más del 50%) y fuerte impacto antrópico (Otavo & Echeverría, 2017). Excepcionalmente, la precordillera de Linares presenta los bosques nativos de roble-hualo mejor conservados de la región junto a una variada riqueza florística, por lo que, se sitúa como un punto importante para la conservación de la biodiversidad a nivel regional (Doll et al., 2011).

Ante este contexto, surge la pregunta de si las comunas de la provincia de Linares cuentan con sitios que puedan proveer múltiples servicios ecosistémicos. El objetivo general del presente estudio es identificar sitios de alta provisión de múltiples servicios ecosistémicos en la provincia de Linares. En particular, se busca (i) reconocer aquellos servicios ecosistémicos más esenciales para las personas de la provincia de Linares, (ii) mapear la capacidad potencial de provisión de servicios ecosistémicos en la provincia de Linares, e (iii) identificar sitios de alta provisión de múltiples servicios ecosistémicos.

II. METODOLOGÍA

2.1. Descripción del área de estudio.

El área de estudio es la provincia de Linares (Figura 1), ubicada en la región del Maule, Chile, la cual presenta una superficie aproximada de 10.074 Km². Se encuentra a una altitud media de 157 m.s.n.m. y engloba a las comunas de Colbún, Linares, Longaví, Parral, Retiro, San Javier de Loncomilla, Villa alegre y Yerbass Buenas.

Según la clasificación bioclimática de Köppen-Geiger (1936), el área de estudio presenta cinco tipos de clima: Clima de tundra (ET), Clima de tundra de lluvia invernal (ET (s)), Clima mediterráneo de lluvia invernal (Csb), Clima mediterráneo de lluvia invernal de altura (Csb (h)) y Clima mediterráneo frío de lluvia invernal (Csc). De estos, el Clima mediterráneo de lluvia invernal (Csb) cubre aproximadamente el 41% de la provincia, y se caracteriza por precipitaciones medias anuales de 700 mm, temperaturas medias anuales de 11°C y un rango altitudinal entre los 100 y los 1.000 m. , cuenta con presencia de plantas de la zona templada y al menos cuatro meses del año con temperatura media igual o mayor a los 10°C (Sarricolea et al., 2017).

En la provincia de Linares predominan los pisos vegetacionales de: Bosque esclerófilo mediterráneo interior de *Lithrea caustica* - *Peumus boldus*, perteneciente a la formación vegetal de Bosque esclerófilo, Bosque espinoso mediterráneo interior de *Acacia caven* - *Lithrea caustica*, perteneciente a la formación vegetal de Bosque espinoso, Matorral bajo mediterráneo andino de *Chuquiraga oppositifolia* - *Discaria articulata*, perteneciente a la formación vegetal de Matorral bajo de altitud (Gajardo, 1995; Luebert & Pliscoff, 2006), representando un 16,5, 13,4 y 11,5% de la provincia, respectivamente.

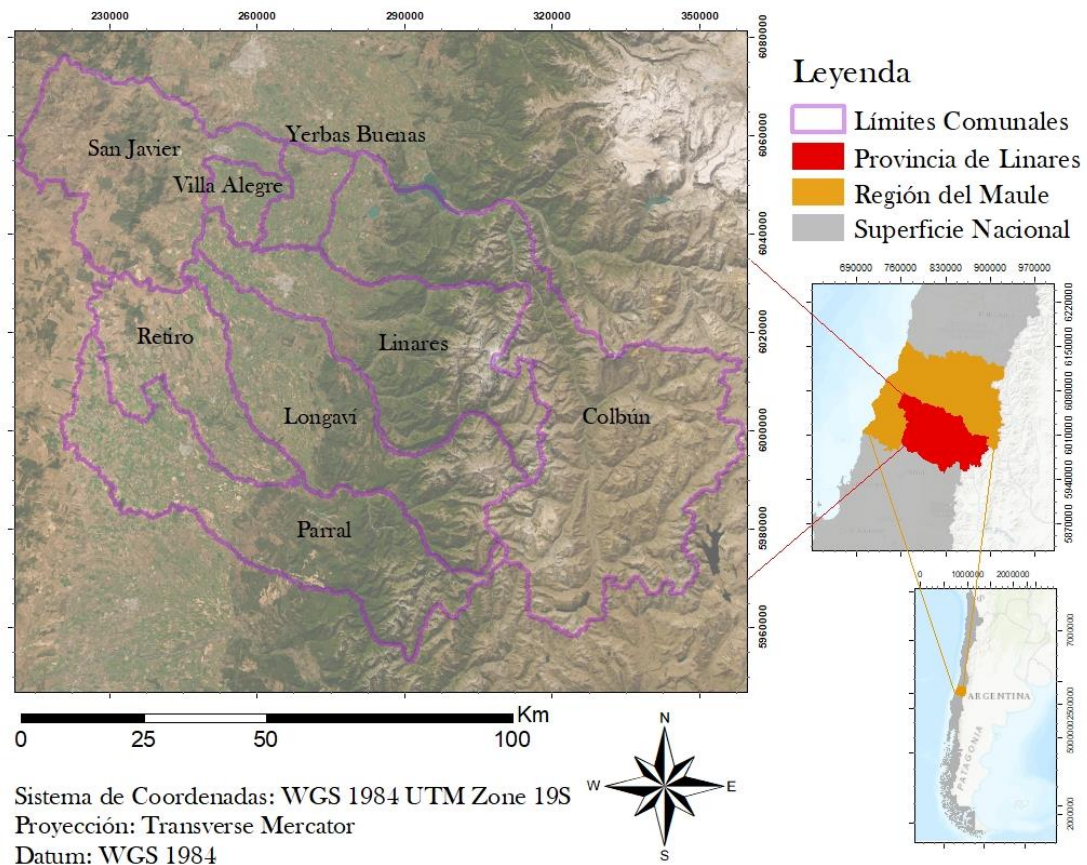


Figura 1. Ubicación del área de estudio correspondiente a la provincia de Linares y sus comunas.

2.2. Actualización de coberturas y usos de suelo.

Este trabajo se generó en el marco del proyecto FONDECYT 1231230 “Evaluación integrada de los impactos del cambio climático y del uso de suelo sobre múltiples servicios ecosistémicos en el Centro-Sur de Chile” y pretende basar sus lineamientos en un enfoque metodológico de cuantificación y mapeo

de servicios ecosistémicos (Burkhard & Maes, 2017) con influencia de diversa literatura correspondiente a planificación del paisaje basada en SE e infraestructura ecológica (Echeverría et al., 2018; von Haaren et al., 2019).

Para la actualización de coberturas y usos de suelo del área de estudio, se utilizaron datos de sistemas de información geográfica (SIG) de distintas fuentes, tales como del LEP, el Sistema de Información Territorial (SIT) de la Corporación Nacional Forestal (CONAF), *Google Earth Engine* (GEE), la Infraestructura de Datos Geoespaciales (IDE) de Chile, la Biblioteca del Congreso Nacional (BCN) y el Ministerio de Medio Ambiente (MMA) (véase tabla 1). Cabe mencionar que cada dato SIG fue revisado y procesado en el software Arcmap 10.8 según las siguientes especificaciones:

Proyección: Universal Transversal de Mercator (UTM)

Datum: World Geodetic System 1984 (WGS 84)

Huso: 19 Sur

La unidad básica de análisis de datos fue delimitada por una resolución espacial con tamaño de píxel de 30x30 metros. Con esto, se espera abarcar de la manera más realista, precisa y actualizada posible el mosaico de paisaje del área de estudio.

Tabla 1. Inventario de datos geoespaciales colectados.

Cobertura	Fuente	Tipo de Dato
Coberturas 2023 Provincia de Linares	LEP	Ráster
Catastro de Recursos Vegetacionales de la Región del Maule	SIT CONAF	Vectorial
Pisos Vegetacionales de Luebert y Pliscoff 2017	MMA	Vectorial
Modelo de Elevación Digital (DEM) de la Región del Maule	IDE CHILE	Ráster
División Comunal de Chile	BCN	Vectorial
Severidad de Incendios en la Provincia de Linares	GEE	Ráster

En primer lugar, se dispuso de las coberturas 2023 del área de estudio con 16 categorías (Tabla 2), de las cuales se procedió a actualizar las siguientes: “Bosque nativo adulto”, “Bosque nativo secundario”, “Plantación adulta”, “Plantación joven” e “Incendio”. Bajo la premisa de adecuarse a las coberturas que correspondan de un total de 55 que se generaron para las regiones del Maule, Ñuble, Biobío y Araucanía en el marco del proyecto, se asociaron sus códigos a las coberturas presentes en el área de estudio (Tabla 3).

Tabla 2. Coberturas y usos de suelo 2023 originales y sus respectivas superficies.

ID	Coberturas	Superficie (ha)
1	Agua	4.894,74
2	Nube	2.286,09
3	plantación adulta	48.943,26
4	plantación joven	85.720,59
5	Cultivos agrícolas	251.518,23
6	Matorral	63.805,14
7	Achaparrado	14.823,09
8	Pradera	103.269,78
9	Tala rasa	12.412,98
10	Incendio	315,91
11	Matorral arborescente	43.250,04
12	Urbano	6.949,35
13	Bosque nativo secundario	155.353,77
14	Bosque nativo adulto	12.961,71
15	Suelo desnudo permanente	201.097,89

Tabla 3. Adecuación de coberturas y usos de suelo presentes en el área de estudio respecto a su código asociado al proyecto.

ID	Código FONDECYT	Nuevo ID	Coberturas
2	Urban area 2	1	Urbano
3	NF01_Sclerophyll-thorny OGF	2	Bosque nativo adulto esclerófilo
4	NF02_Deciduous OGF	3	Bosque nativo adulto caducifolio
7	NF11_Sclerophyll-thorny SF	4	Bosque nativo secundario esclerófilo
8	NF12_Deciduous SF	5	Bosque nativo secundario caducifolio
11	NF15_Stunted forest	6	Achaparrado
12	Arborescent Scrub	7	Matorral arborescente
13	Scrubland	8	Matorral
14	FP1_Pinus	9	Plantación adulta <i>Pinus sp</i>
15	FP2_young Pinus	10	Plantación joven <i>Pinus sp</i>
16	FP3_Eucalyptus	11	Plantación adulta <i>Eucalyptus sp</i>
17	FP4_Young Eucaliptus	12	Plantación joven <i>Eucalyptus sp</i>
18	FP4_Harvested	13	Tala rasa
22	Agr04_Fruits crop 04	14	Suelo agrícola
35	Agr17_Annual crop04	15	Suelo agrícola
43	Past01_HI Grassland	16	Praderas
44	Past02_MI Grassland	17	Praderas

45	Past03_NI_Grassland	18	Praderas
47	Past05_HA grasslands	19	Praderas
48	Agr25_Fallow	20	Suelo desnudo agrícola
51	Bare soil	21	Suelo desnudo permanente
53	Water bodies	22	Agua
55	Clouds	23	Nubes

La actualización se realizó en tres secciones:

- Plantaciones Forestales:

Se afinaron las coberturas de “Plantación adulta”, “Plantación joven”, distinguiendo dentro de ellas superficies de *Pinus sp* y *Eucalyptus sp*, con ayuda del Catastro de recursos vegetacionales de la Región del Maule (2016) proporcionado por CONAF. En primera instancia, se aplicó un recorte espacial al catastro para acotarlo al área de estudio. Luego, se seleccionó por atributo y se extrajeron todas las filas de la tabla de atributos del catastro que contengan la palabra “Plantación”. Después, se disolvieron todas las filas extraídas según su especie dominante y se creó un nuevo campo en la tabla de atributos para enumerarlas. A continuación, el archivo vectorial resultante se rasterizó con los siguientes valores: “100” para *Pinus sp* y “200” para *Eucalyptus sp* y otros géneros de especies utilizadas para monocultivo. Seguidamente, en la calculadora ráster se

sumó el archivo resultante anterior con las coberturas 2023 originales. Finalmente, el resultado se reclasificó para ordenar las nuevas categorías creadas de plantaciones.

- Bosque nativo:

Se afinaron las coberturas de “Bosque nativo adulto” y “Renoval”, distinguiendo dentro de ellas los tipos forestales: “Caducifolio”, “Esclerófilo” y “Espinoso”. Con ayuda de los Pisos vegetacionales de Luebert y Plischoff (2017) proporcionados por Ministerio de Medio Ambiente (MMA). En primera instancia, se aplicó un recorte espacial a los pisos para acotarlos al área de estudio. Después, se disolvieron las filas de la tabla de atributos según los pisos vegetacionales y se creó un nuevo campo para enumerarlos. Luego, el archivo vectorial resultante se rasterizó. Seguidamente, en la calculadora ráster se multiplicó por el valor “1.000” y además se sumó a las coberturas 2023 (con las categorías actualizadas de plantaciones). Finalmente, se reclasificaron para ordenar e incluir las nuevas categorías creadas para bosque nativo.

- Área Incendiada:

Se actualizó la cobertura de “Incendio” con el cálculo del índice diferenciado de ratio de quemaduras normalizado o más conocido como “dNBR” (por sus siglas en inglés) propuesto por Key and Benson (2006), permite cuantificar cambios en la vegetación y evaluar severidad de las áreas afectadas por el fuego (Keeley, 2009). Este cálculo fue realizado a

través de la aplicación de GEE con un *script* obtenido desde el siguiente enlace:

<https://un-spider.org/advisory-support/recommended-practices/recommended-practice-burn-severity/burn-severity-earth-engine>

Administrado por la “Plataforma de las Naciones Unidas para la Información Espacial al Servicio de la Gestión de Desastres y la Respuesta de Emergencia” (o UN-SPIDER, por sus siglas en inglés). El cálculo está definido por las ecuaciones (1) y (2) (Figura 2), donde NIR y SWIR hacen referencia a la banda Infrarrojo Cercano e Infrarrojo de Onda Corta, respectivamente. Los parámetros ajustables que ofrece el *script* abarcan el área de estudio que fue cargada localmente, el tipo de imagen satelital (Landsat 8 o Sentinel 2) que en este caso fue Sentinel 2 y el rango de fechas antes y después del incendio, que fueron del 01 al 28 de enero del 2023 y del 03 al 28 de febrero del 2023, respectivamente.

$$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad (1)$$

$$dNBR = NBR_{pre} - NBR_{post} \quad (2)$$

Figura 2. Ecuaciones para el cálculo de los índices NBR y dNBR. Adaptado de Sánchez et al. (2023).

Una vez obtenido el archivo ráster resultante de GEE, se procesó localmente en Arcmap 10.8. Primero, se le asignaron las especificaciones mencionadas anteriormente (proyección de coordenadas y resolución espacial). Luego, se remuestreó según la cercanía de píxeles y se extrajo espacialmente con la misma extensión que las coberturas 2023 originales. Después, en la calculadora ráster se le aplicó la función “INT” para acotar los valores de su tabla de atributos a números enteros. A continuación, se extrajo por atributos todos los valores “iguales o mayores a 100”, para dejar solo la superficie afectada por algún grado de severidad (véase tabla 4). Seguidamente, al archivo resultante se le reclasificaron todos los valores a 1. Posteriormente, se agruparon los píxeles según la regla de 8 celdas para poder identificar la superficie incendiada continua más grande, la cual fue previamente corroborada en el “Sistema de Información sobre Incendios para la Gestión de Recursos” de la “Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio” de Estados Unidos (FIRMS y NASA, respectivamente, por sus siglas en inglés) en el siguiente enlace: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>. Acto seguido, a esta superficie incendiada continua más grande (que corresponde al incendio de “Río Claro en Longaví”) se extrajo por atributos y se reclasificó al valor “10.000”. Tras eso, en la calculadora ráster se sumó el archivo resultante anterior con las coberturas 2023 (con las categorías actualizadas de plantaciones y bosque nativo) y se identificó la superficie de cada categoría afectada

por el incendio. Finalmente, el archivo resultante se reclasificó para ordenar las nuevas categorías de incendio.

Tabla 4. Niveles de severidad de incendios y umbrales propuestos por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés). Adaptado al español.

Nivel de Severidad	Rango de dNBR (escalado a 10^3)	Rango de dNBR (No escalado)
Regeneración mejorada, alta (post-incendio)	-500 a -251	-0,500 a -0,251
Regeneración mejorada, baja (post-incendio)	-250 a -101	-0,250 a -0,101
No quemado	-100 a 99	-0,100 a 0,99
Severidad baja	100 a 269	0,100 a 0,269
Severidad moderada-baja	270 a 439	0,270 a 0,439
Severidad moderada-alta	440 a 659	0,440 a 0,659
Severidad alta	660 a 1300	0,660 a 1,3

2.3. Mapeo de capacidad de provisión de servicios ecosistémicos.

Burkhard and Maes (2017) recomiendan algunas etapas básicas e imprescindibles para el mapeo de la capacidad de provisión de SE en un área determinada, y son los siguientes:

- Selección de unidades espaciales geobiofísicas:

Para este punto se utilizaron las coberturas y usos de suelo 2023 actualizadas (véase Tabla 8 y Figura 4 en la sección de resultados) para representar los ecosistemas del paisaje del área de estudio.

- Selección de SE relevantes:

Los SE utilizados fueron aquellos priorizados de manera participativa en el marco del estudio “Planificación ecológica de la infraestructura ecológica de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos y programa regional de prioridades de restauración ecológica en el contexto de los incendios de la temporada 2016-2017: Aplicación en Región del Maule” (Echeverría et al., 2018) y se pueden apreciar en la Tabla 5, los cuales fueron categorizados bajo estándares de la “Clasificación común internacional de servicios ecosistémicos” (CICES por sus siglas en inglés) v5.1 (Haines-Young & Potschin, 2018). Cabe mencionar que, los SE seleccionados son los que serán incluidos en la encuesta del apartado 2.4.

Tabla 5. Indicadores de servicios ecosistémicos utilizados en el estudio de Echeverría et al. (2018).

Sección	Clase	Indicador	Unidad	ID
	Regulación del clima	Índice de confort	°C	1
	Control de erosión	Pérdida de suelo	Ton/ha año-1	2
	Mantenimiento de flujos de agua	Diferencia volumétrica	%	3
	Condición química del agua para beber	Pérdida de calidad de agua	%	4
	Regulación del clima mediante la reducción de las concentraciones de gases de efecto invernadero	Almacenamiento de carbono	Ton C/ha	5
Provisión	Plantas cultivadas	Producción de alimento	Kcal/ha	6

	Fibras y otros materiales desde plantas	Producción de celulosa	Ton/ha	7
	Fibras y otros materiales desde plantas	Producción de madera aserrada	m3/ha	8
	Fibras y otros materiales desde plantas	Producción de leña	Ton/ha	9
Cultural	Entretenimiento	Potencial de recreación	%	10

- Evaluación de capacidad de provisión de SE:

En este apartado se consideró la valoración de los indicadores de SE de Echeverría et al. (2018) realizada con los modelos geobiofísicos generados en el marco del proyecto FONDECYT 1231230. De un total de 55 categorías generadas en el FONDECYT, se consideraron solo las presentes en el área de estudio (Tabla 3). Las categorías nuevas generadas a partir de la actualización se les asignó un valor similar al de su cobertura original. Este apartado contempla el uso de una escala relativa con valores de 0 a 100 (Tabla 6), es decir, los indicadores están normalizados, los valores fluctúan desde la nula capacidad de

provisión de SE hasta la máxima capacidad provisión de SE. En el caso de las nuevas categorías de coberturas afectadas por incendios, se calculó el promedio aritmético entre cada cobertura afectadas y el “suelo desnudo permanente” (ya que es la categoría del proyecto FONDECYT 1231230 que mejor representa una superficie siniestrada por el fuego) y luego se dividió en cuatro, debido a que fueron considerados los cuatro niveles de severidad en la actualización de coberturas. Asimismo, para las coberturas de “Suelo agrícola” y “Praderas” que se iteran en la Tabla 3, se calculó un promedio aritmético de sus múltiples valores de provisión de SE.

Tabla 6. Matriz de valores de capacidad de provisión de los servicios ecosistémicos para cada cobertura y uso de suelo. Fuente: Proyecto FONDECYT 1231230.

ID	Servicios ecosistémicos (SE)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	100,0	100,0	100,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	72,5
2	56,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	49,0	62,5	40,1	74,7	64,5	0,0	92,7	65,3	55,5	20,0
4	49,0	40,1	19,3	66,9	53,3	0,0	46,3	31,4	27,7	15,0
5	31,0	38,1	19,5	13,6	4,6	66,5	0,0	0,0	0,0	14,5
6	49,0	0,0	0,0	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,7
7	61,0	57,5	35,4	38,8	3,7	0,0	0,0	0,0	4,0	16,1

8	56,0	96,1	46,7	82,5	12,9	0,0	0,0	0,0	10,7	67,0
9	55,5	58,2	27,9	22,9	1,3	35,3	0,0	0,0	0,0	19,6
10	38,0	6,4	7,4	40,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0
11	68,0	72,5	42,7	43,4	8,0	0,0	0,0	2,1	6,8	25,2
12	31,0	96,6	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6
13	86,0	47,2	13,5	12,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0
14	56,0	60,1	38,2	61,8	42,7	0,0	100,0	41,1	75,9	21,6
15	49,0	37,5	18,4	55,3	33,8	0,0	50,0	20,3	35,0	15,8
16	100,0	92,9	64,8	85,4	74,1	0,0	0,0	40,9	40,9	84,9
17	89,0	95,1	95,2	93,0	100,0	0,0	0,0	76,0	68,6	92,1
18	86,0	93,9	52,6	79,7	44,7	0,0	0,0	0,0	10,7	48,6
19	86,0	95,6	80,6	79,7	56,9	0,0	0,0	11,1	16,7	75,6
20	86,0	93,9	52,6	79,7	44,7	0,0	0,0	0,0	10,7	48,6
21	18,4	13,1	6,1	6,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,5	4,5
22	17,8	17,9	7,5	11,9	1,6	0,0	0,0	0,0	1,3	10,9
23	17,7	13,2	5,2	4,5	0,2	4,4	0,0	0,0	0,0	4,9
24	19,3	15,0	7,0	7,0	1,0	0,0	0,0	0,3	0,9	5,7
25	23,3	17,5	9,8	12,3	9,3	0,0	0,0	5,1	5,1	13,1
26	21,9	17,8	13,6	13,2	12,5	0,0	0,0	9,5	8,6	14,0

* La enumeración del campo “ID” está determinada por las coberturas y usos de suelo de la tabla 8. En ella, se unen las coberturas de “suelo agrícola” y “suelo desnudo agrícola” (número 5 y 6 de la presente tabla, respectivamente) para ser

nombradas “Cultivos agrícolas”, esto, solo para fines interpretativos en términos de área, ya que, para evaluar capacidad de provisión de SE sus valores son distintos y deben ser diferenciados. La enumeración de los SE está determinada por la columna “ID” de la tabla 5.

- Unión espacial de unidades geobiofísicas y valores de SE:

En este apartado, los valores normalizados de provisión de SE fueron adecuados para cada categoría de las coberturas 2023 actualizadas y se procedió a reclasificarlos para representar de forma espacialmente explícita la capacidad de provisión de cada SE considerado para el área de estudio (véase la sección 3.2.).

2.4. Percepciones de actores sociales sobre la relación entre el bienestar humano y la naturaleza.

A través de la aplicación *Google Forms*, se generó una encuesta llamada “Encuesta de percepción de la relación entre bienestar humano y la naturaleza en la provincia de Linares, región del Maule” (Figura 3). El formato se desarrolló siguiendo recomendaciones de Kelley et al. (2003), Rea and Parker (2014) y von Haaren et al. (2019). Este consistió en tres secciones: (1) “Presentación”, la cual incluyó los objetivos del estudio y la encuesta en sí, la población objetivo, definición de conceptos clave, la estructura general de la encuesta, el tiempo

necesario estimado para completarla, una declaración de anonimato y confidencialidad explicitando el uso exclusivo de los resultados con fines de investigación científica y los datos de contacto del autor, (2) “Información personal”, que consulta de manera general el sector que habita, la edad y el tipo que actor social que representa la persona encuestada y, (3) “Importancia de SE”, que describe y ejemplifica cada SE para luego mostrar una matriz que relaciona los SE y una escala *Likert* (Figura 4) donde se les solicitó a los participantes valorar según su propia percepción la importancia de cada SE a través de una calificación del 1 al 5, donde 1 representa “Baja importancia” y 5 representa “Alta importancia”. La encuesta fue destinada a identificar a los SE más esenciales para las personas de la provincia de Linares dentro de los SE priorizados participativamente en el estudio de Echeverría et al. (2018) (Tabla 5). Esta encuesta logró generar una base de datos que incluye las respuestas de 115 personas. Buscó el mayor alcance posible dentro de la provincia de Linares, abarcando los 5 tipos de actores sociales (Tabla 7) representativos de las sociedades humanas según Burkhard and Maes (2017). Considerando que, al ampliar la población objetivo de una encuesta puede proporcionar información importante de los actores involucrados en los procesos de planificación del paisaje y permite integrar diversos puntos de vista (Mascarenhas et al., 2014). También, Identificar la representatividad de cada tipo de actor social en las respuestas de la encuesta, permite avanzar en la adopción de una perspectiva centrada en el actor y sus diversas necesidades, a diferencia de la mayoría de

estudios que consideran contribuciones de la naturaleza relevantes para comunidades humanas en el sentido amplio (QUÉTIER et al., 2007).

Encuesta de percepción de la relación entre bienestar humano y la naturaleza en la provincia de Linares, región del Maule.

¡Gracias por su interés en participar en esta encuesta!

La realización de esta encuesta es de carácter anónimo y confidencial, y no le tomará más de 5 minutos en responder.

Consiste en **breves preguntas** para conocer su percepción personal respecto a la relación entre su bienestar y la naturaleza. Para responder debemos considerar que:

- Un servicio ecosistémico es una contribución de la naturaleza para el bienestar humano. Por ejemplo, los alimentos que brinda la tierra o el agua que proveen los ríos.

Figura 3. Vista general de la encuesta de percepción de la relación entre bienestar humano y la naturaleza en la provincia de Linares, región del Maule.

"1" representa "Baja importancia".

"2" representa "Leve importancia".

"3" representa "Media importancia".

"4" representa "Considerable importancia".

"5" representa "Alta importancia".

Marque solo una opción por fila.

	1	2	3	4	5
Temperatura	☐	☐	☐	☐	☐
Erosión	☐	☐	☐	☐	☐
Carbono	☐	☐	☐	☐	☐
Agua (cantidad)	☐	☐	☐	☐	☐
Agua (calidad)	☐	☐	☐	☐	☐
Madera	☐	☐	☐	☐	☐
Leña	☐	☐	☐	☐	☐
Pulpa	☐	☐	☐	☐	☐
Alimento	☐	☐	☐	☐	☐
Turismo	☐	☐	☐	☐	☐

Figura 4. Vista general de matriz de SE y escala Likert.

Tabla 7. Tipos de actores sociales según Burkhard and Maes (2017).

Tipos	Ejemplos
Sector público	Municipalidades
Sector privado	Empresas Agrícola
Sector académico	Investigadores
Comunidades	Juntas de vecinos
Organizaciones No Gubernamentales (ONG)	Fundaciones

2.5. Identificación de sitios de alta provisión de múltiples servicios ecosistémicos.

Este apartado se basó en el uso del software ZONATION 4.0, el cual permite generar una priorización espacial en base a diversos criterios. Para este caso, se utilizaron como *inputs* los 10 indicadores espacialmente explícitos de SE del estudio de Echeverría et al. (2018) (véase sección 3.2.), incluyendo también una máscara del área de estudio. Se generaron dos priorizaciones: una sin ponderación de SE y otra con ponderación de SE en base a los resultados de la encuesta. Para el último caso, a cada indicador de SE le fue asignada una ponderación combinada a partir del procesamiento de las respuestas de la encuesta en el software Excel (con la función “Suma producto”), es decir, la ponderación se basó en dos ponderaciones, una de la frecuencia de los valores de la escala

Likert obtenidos de los resultados de la encuesta y otra de los propios valores de la escala Likert. Luego, en el software ArcMap 10.8 se ingresó el archivo “Rank” resultante para visualizarlo y se generaron 10 clases para identificar el 10% del paisaje con mayor prioridad de conservación de SE.

III. RESULTADOS

3.1. Actualización de coberturas y usos de suelo.

La actualización de coberturas y usos del suelo en la provincia de Linares permitió generar un total de 25 categorías (Figura 5), de los cuales las más dominantes fueron “Cultivos agrícolas” con 24,97%, “Suelo desnudo permanente” con un 19,97% del área de estudio y “Bosque nativo secundario caducifolio” con 11,11% (Tabla 8). Considerando sólo las superficies destinadas a la producción, tanto en el ámbito forestal como agrícola, se observó que ocupan un poco más de un tercio de la provincia (35,88%). Las coberturas afectadas durante los incendios fueron las siguientes: “Matorral”, “Achaparrado”, “Pradera”, “Matorral arborescente”, “Bosque nativo secundario caducifolio” y “Bosque nativo adulto caducifolio”. Representan menos del 1% de la provincia, pero todas corresponden a ecosistemas naturales.

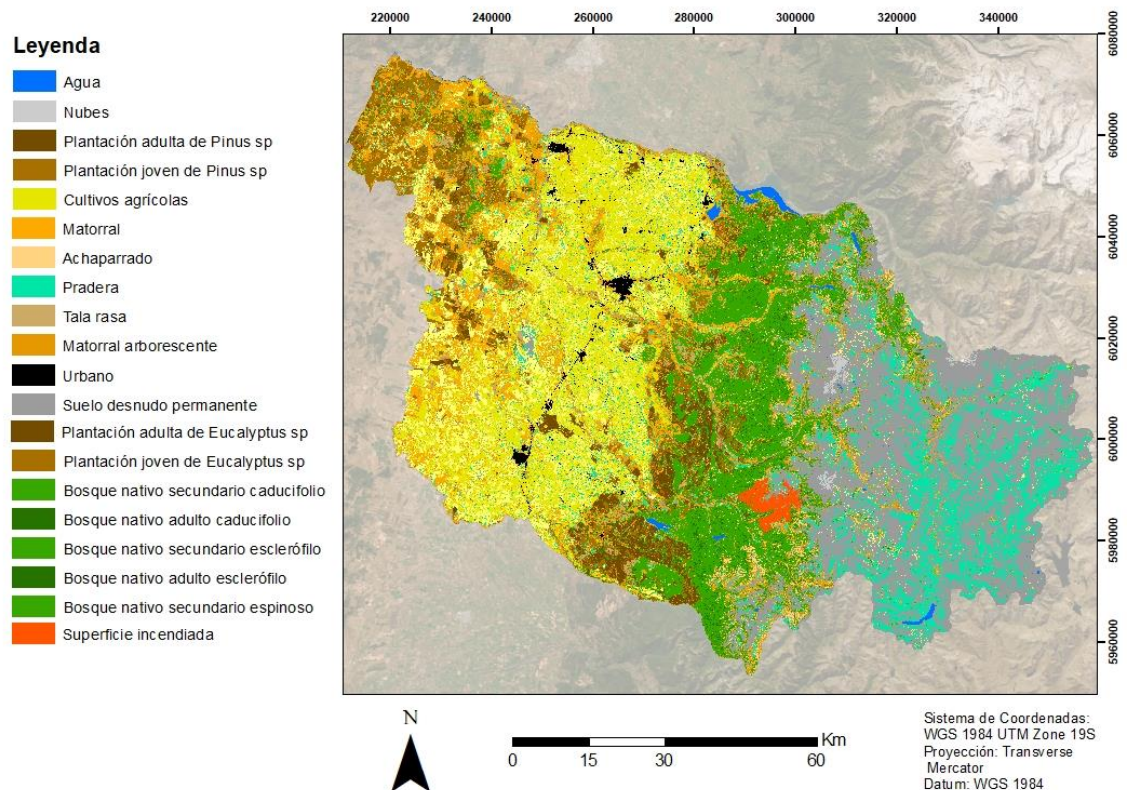


Figura 5. Coberturas y usos de suelo de la provincia de Linares actualizados al 2023. Fuente: elaboración propia.

Tabla 8. Superficie de las coberturas y usos de suelo de la provincia de Linares actualizados al 2023. Fuente: Elaboración propia.

ID	Coberturas	Superficie (ha)	Superficie (%)
1	Agua	4.894,74	0,49
2	Nubes	2.286,09	0,23
3	Plantación adulta de <i>Pinus sp</i>	33.936,48	3,37
4	Plantación joven de <i>Pinus sp</i>	49.542,93	4,92

5	Cultivos agrícolas	251.515,89	24,97
6	Matorral	100.769,4	10
7	Achaparrado	14.611,86	1,45
8	Praderas	103.125,51	10,24
9	Tala rasa	12.412,71	1,23
10	Matorral arborescente	42.781,59	4,25
11	Urbano	6.949,35	0,69
12	Suelo desnudo permanente	201.215,34	19,97
13	Plantación adulta de <i>Eucalyptus</i> sp	5.271,3	0,52
14	Plantación joven de <i>Eucalyptus</i> sp	8.728,47	0,87
15	Bosque nativo secundario caducifolio	111.922,92	11,11
16	Bosque nativo adulto caducifolio	11.152,35	1,11
17	Bosque nativo secundario esclerófilo	28.486,17	2,83
18	Bosque nativo adulto esclerófilo	1.272,87	0,13
19	Bosque nativo secundario espinoso	10.842,57	1,08
20	Matorral incendiado	220,23	0,02
21	Achaparrado incendiado	211,23	0,02
22	Pradera incendiada	123,57	0,01
23	Matorral arborescente incendiado	468,45	0,05
24	Bosque nativo secundario caducifolio incendiado	4.100,4	0,41
25	Bosque nativo adulto caducifolio incendiado	508,77	0,05

3.2. Mapeo de capacidad de provisión de servicios ecosistémicos.

En cuanto al SE de regulación del clima (Figura 6) se observó que los cuerpos de agua y los bosques nativos adultos son las coberturas que más influyen positivamente en su provisión, ya que regulan la temperatura local. Asimismo, para el SE de control de erosión (Figura 7) los cuerpos de agua y la cobertura urbana son los que mejor actúan en la prevención de pérdida de suelo a consecuencia del agua o el viento. Para el caso de los SE de mantención de flujos de agua y condición química de agua para beber (Figuras 8 y 9, respectivamente) se apreció que los cuerpos de agua y los bosques nativos adultos e incluso los bosques nativos secundarios caducifolios, tienen la capacidad de estabilizar los flujos hidrológicos y purificar la composición química del agua mejor que cualquier otra cobertura mapeada. Para el SE de regulación del clima mediante la reducción de las concentraciones de gases de efecto invernadero (Figura 10) se observó que los bosques nativos adultos y los bosques nativos secundarios caducifolios son las coberturas más eficientes al momento de absorber y retener dióxido de carbono (CO_2). En el SE de plantas cultivadas (Figura 11) se evidenció que los suelos agrícolas de la provincia e incluso las praderas tienen una capacidad relativamente alta de proveer alimentos cultivados con fines nutricionales.

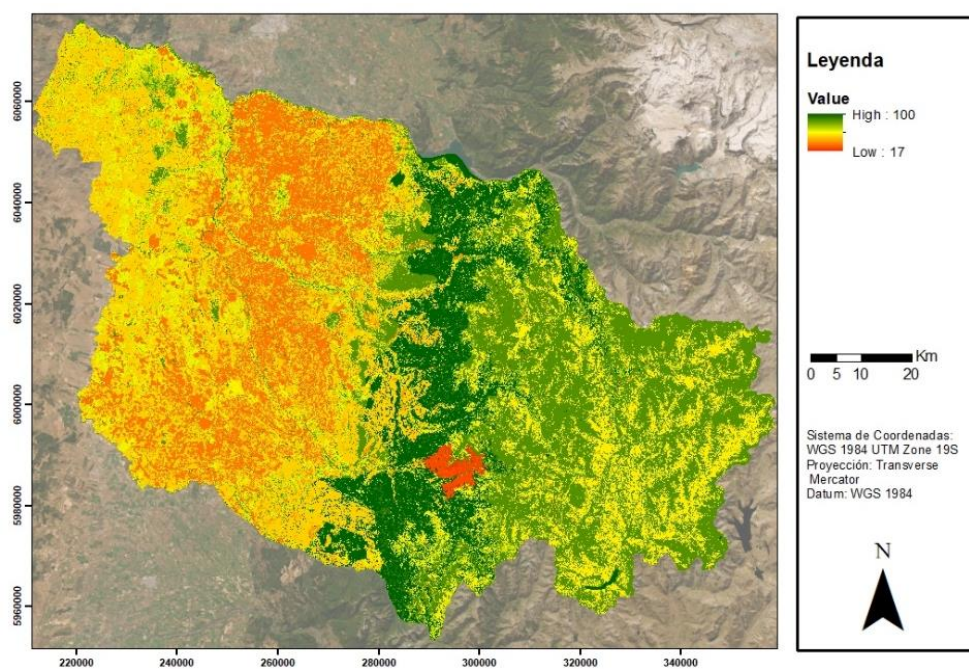


Figura 6. Capacidad de provisión del servicio ecosistémico de regulación del clima. Fuente: Elaboración propia.

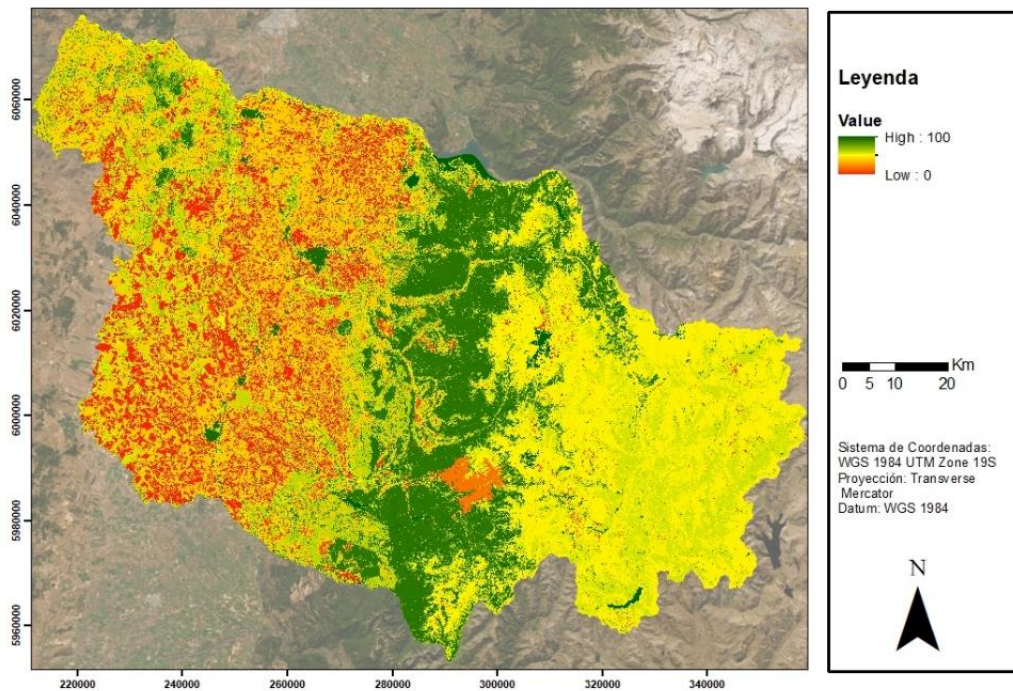


Figura 7. Capacidad de provisión del servicio ecosistémico de control de erosión.
Fuente: Elaboración propia.

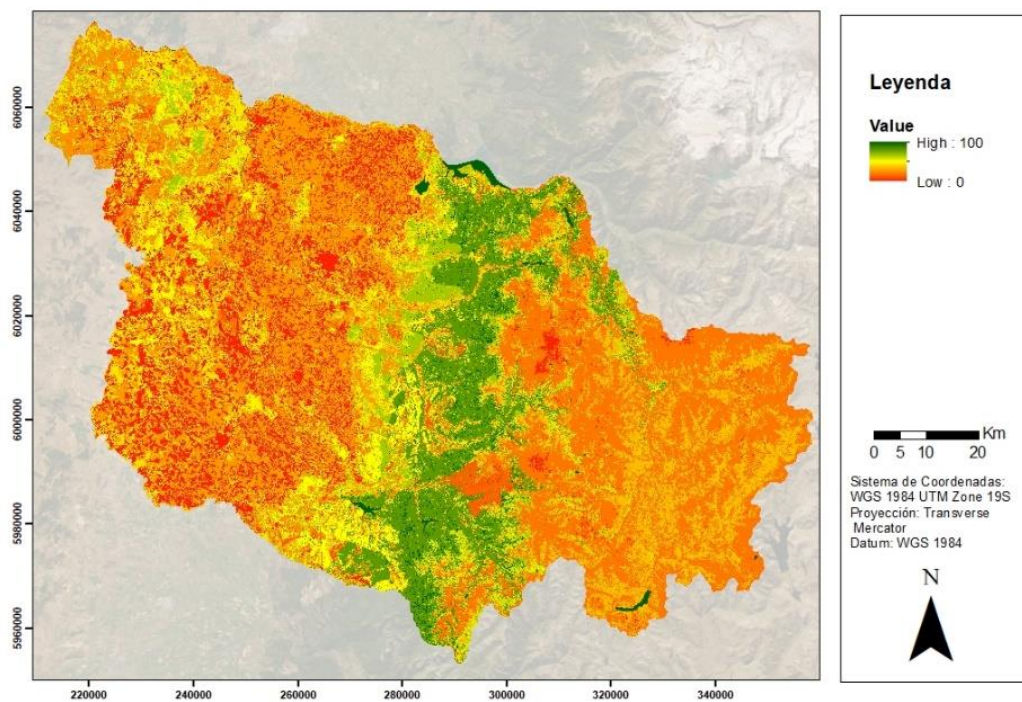


Figura 8. Capacidad de provisión del servicio ecosistémico de mantención de flujos de agua. Fuente: Elaboración propia.

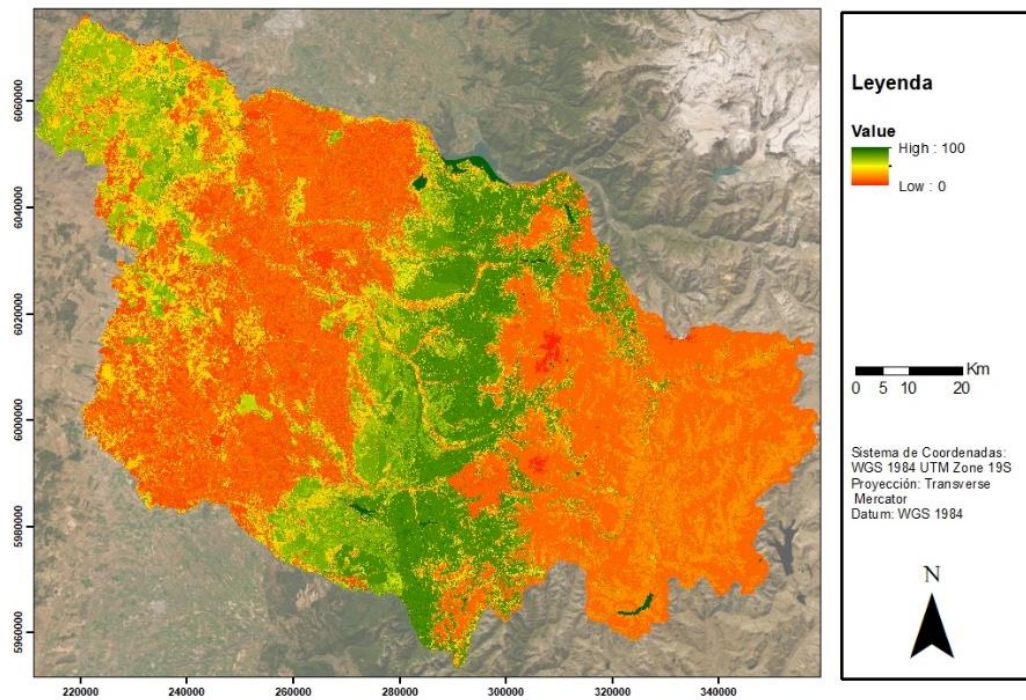


Figura 9. Capacidad de provisión del servicio ecosistémico de condición química de agua para beber. Fuente: Elaboración propia.

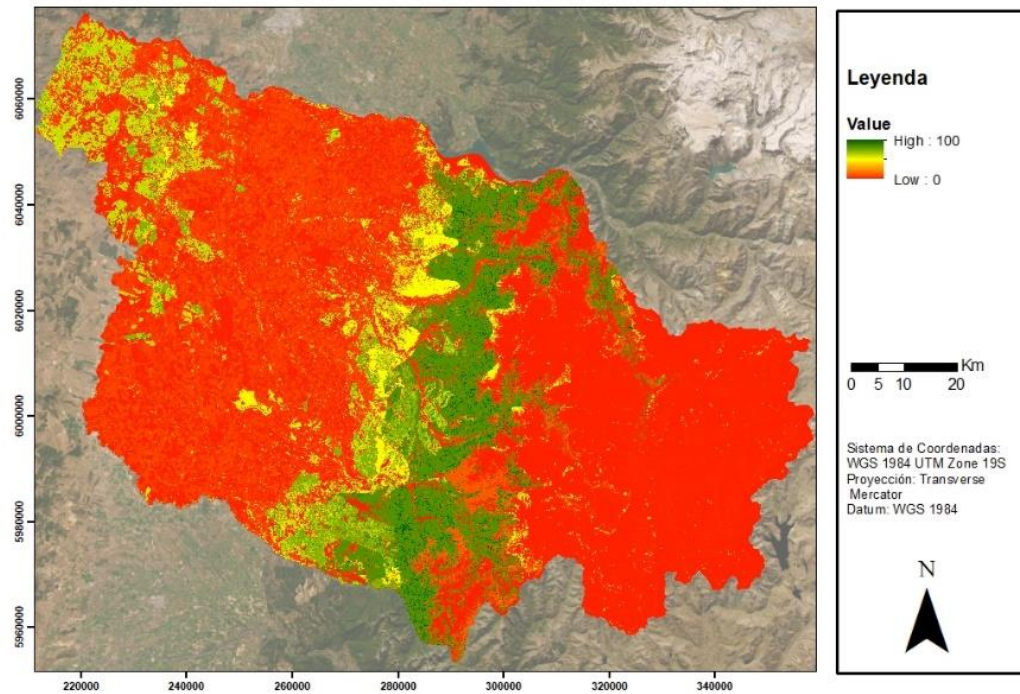


Figura 10. Capacidad de provisión del servicio ecosistémico de regulación del clima mediante la reducción de las concentraciones de gases de efecto invernadero. Fuente: Elaboración propia.

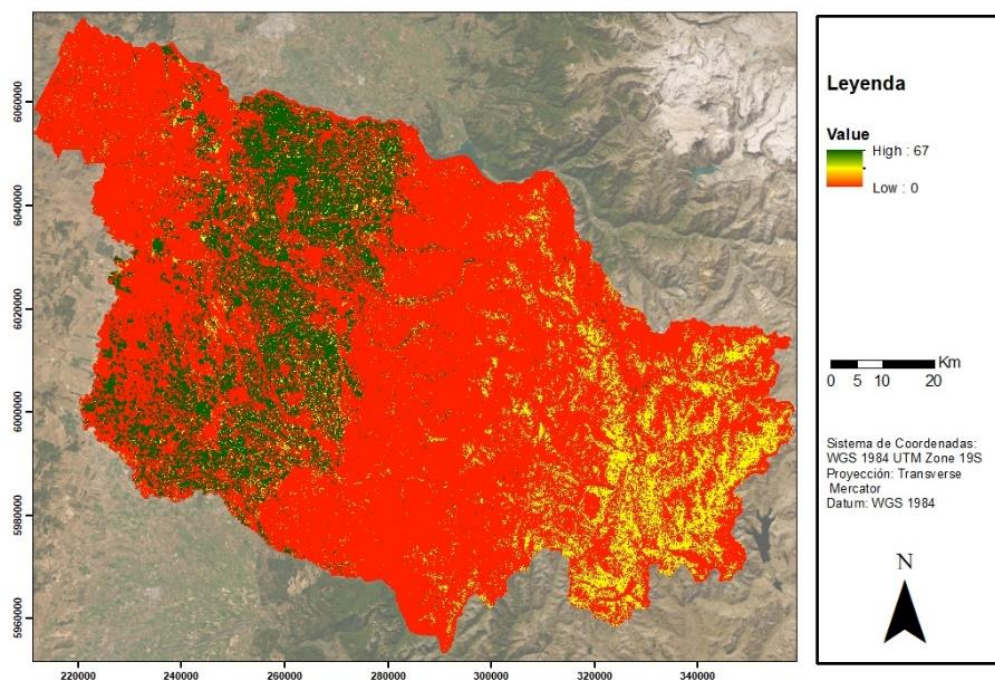


Figura 11. Capacidad de provisión del servicio ecosistémico de plantas cultivadas. Fuente: Elaboración propia.

Para el SE de producción de celulosa (Figura 12) se observó que las plantaciones adultas de *Eucalyptus sp* y *Pinus sp*, tienen la mayor capacidad de brindar materia prima como fibras para la fabricación de papel y otros productos a base de celulosa. Para la producción de madera aserrada (Figura 13) el bosque nativo adulto caducifolio y las plantaciones adultas de *Pinus sp* son las coberturas que brindan más madera como recurso de construcción y material para aserraderos. En el caso de la producción de leña (Figura 14) las plantaciones adultas de *Eucalyptus sp* junto al bosque nativo adulto caducifolio tienen la mayor capacidad de proporcionar madera como fuente de energía y calefacción. Finalmente, para

el SE de entretenimiento (Figura 15) se percibió que los bosques nativos adultos, los bosques nativos secundarios caducifolios y los cuerpos de agua son las coberturas con mayor capacidad de brindar la posibilidad de disfrutar actividades al aire libre y de atractivos naturales y turísticos.

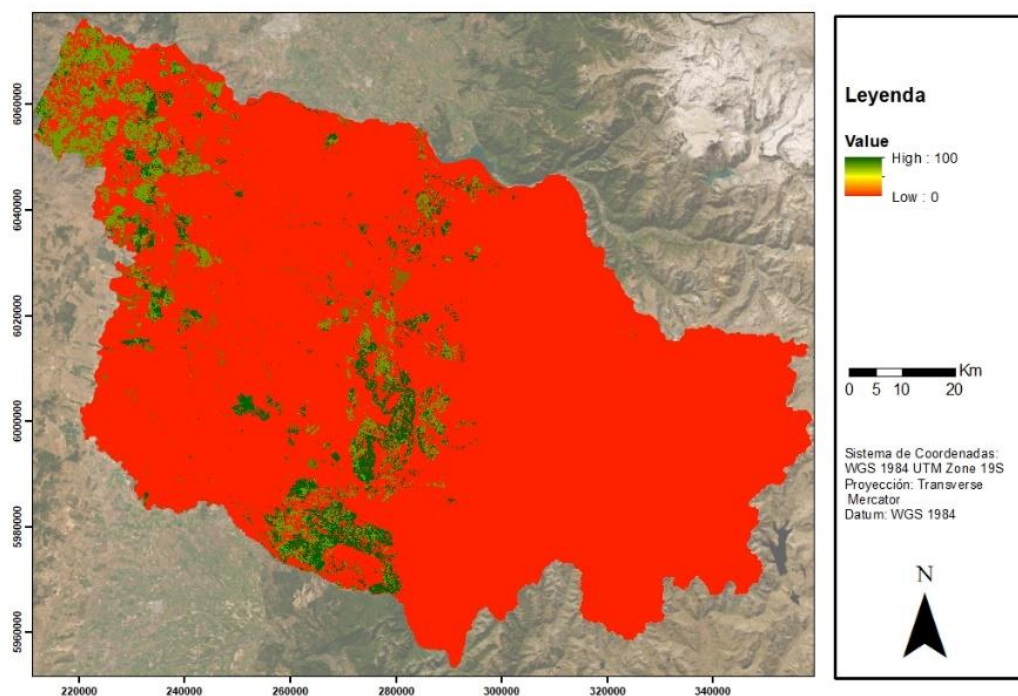


Figura 12. Capacidad de provisión del servicio ecosistémico de producción de celulosa. Fuente: Elaboración propia.

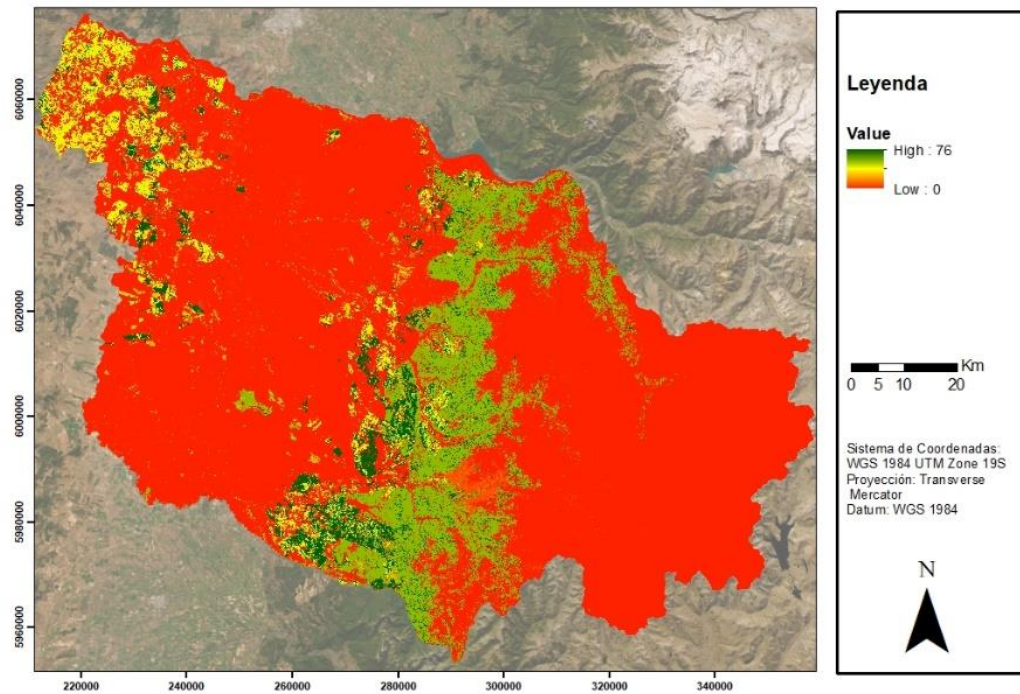


Figura 13. Capacidad de provisión del servicio ecosistémico de producción de madera aserrada. Fuente: Elaboración propia.

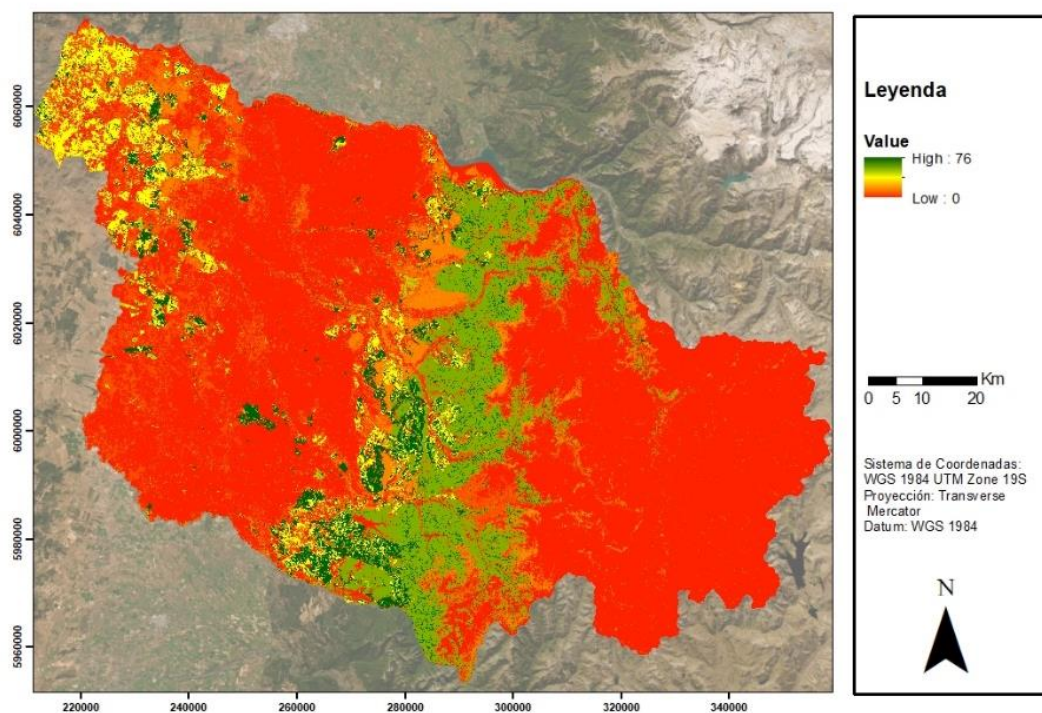


Figura 14. Capacidad de provisión del servicio ecosistémico de producción de leña. Fuente: Elaboración propia.

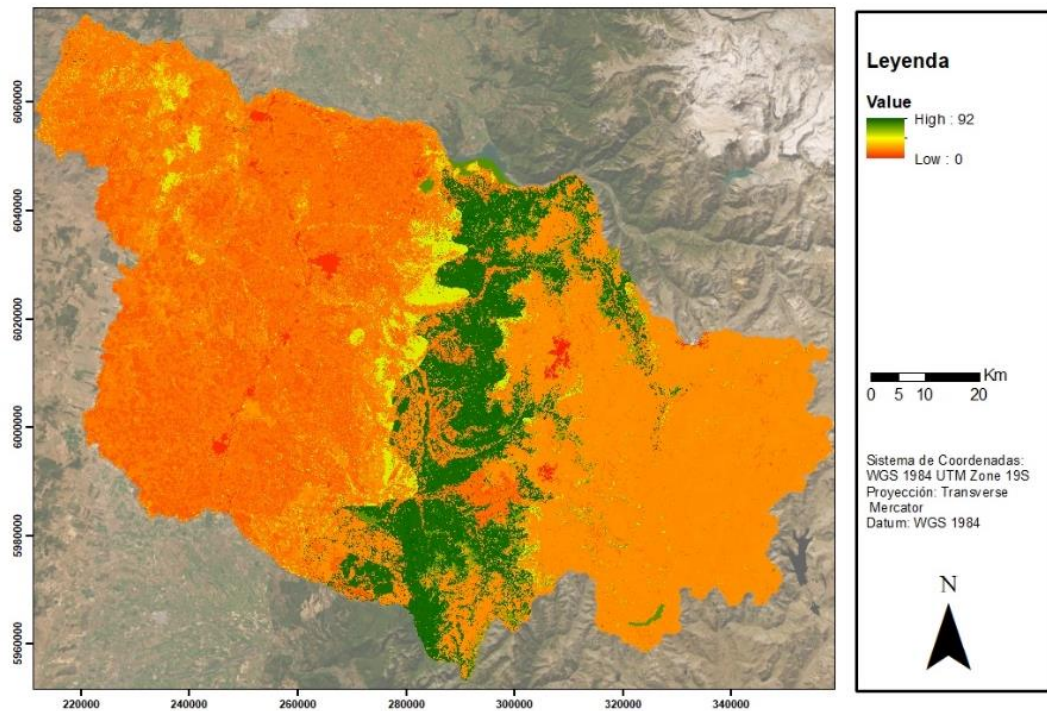


Figura 15. Capacidad de provisión del servicio ecosistémico de entretenimiento.
 Fuente: Elaboración propia.

3.3. Percepciones de actores sociales sobre servicios ecosistémicos más esenciales para las personas de la provincia de Linares

En la base de datos se identificó que el 99,1% de los encuestados habita o trabaja en la provincia de Linares. Dentro del universo de encuestados que sí pertenecen a la provincia, las comunidades son el sector de la sociedad con mayor presencia en las respuestas con un 34,2% de las personas encuestadas, seguidos por el

sector privado con un 31,6%, sector público con un 23,7%, ONG's con un 6,1% y finalmente el sector académico con un 4,3% (Figura 16). El rango de edad más representado es de los 31 a los 60 años con un 45,6%, seguido del rango entre los 19 y los 30 años con un 38,6% (Figura 16).

Un 20,2% de las personas encuestadas habitan la comuna de Linares, asimismo un 18,4% reside en la comuna de San Javier de Loncomilla y un 16,7% en la comuna de Parral, siendo así, las tres comunas más representadas en los resultados de esta encuesta, por otro lado, la menos representada fue la comuna de Longaví con un 6,1% del total de personas encuestadas (Figura 16).

Dentro del universo de personas encuestadas, más del 80% perciben los SE de mantención de flujos de agua y condición química de agua para beber como de alta importancia para su bienestar humano (Figura 17), seguidos por el SE de entretenimiento con un 46,5%, como único representante del tipo cultural (Figura 19). Asimismo, el SE de regulación del clima mediante la reducción de las concentraciones de gases de efectos invernaderos es percibido como de alta importancia por un 42,6% de las personas encuestadas (Figura 17). Los SE de regulación del clima y plantas cultivadas se sitúan principalmente como de considerable importancia con un 36,8% (Figura 17) y un 34,2% (Figura 18), respectivamente. Por su parte, el SE de control de erosión se percibe como de mediana importancia por un 36,8% de las personas (Figura 17). Finalmente, los

SE de producción de madera aserrada, leña y celulosa son considerados como de baja importancia para el bienestar humano de las personas con un 43, 49,1 y 55,3%, respectivamente (Figura 18).

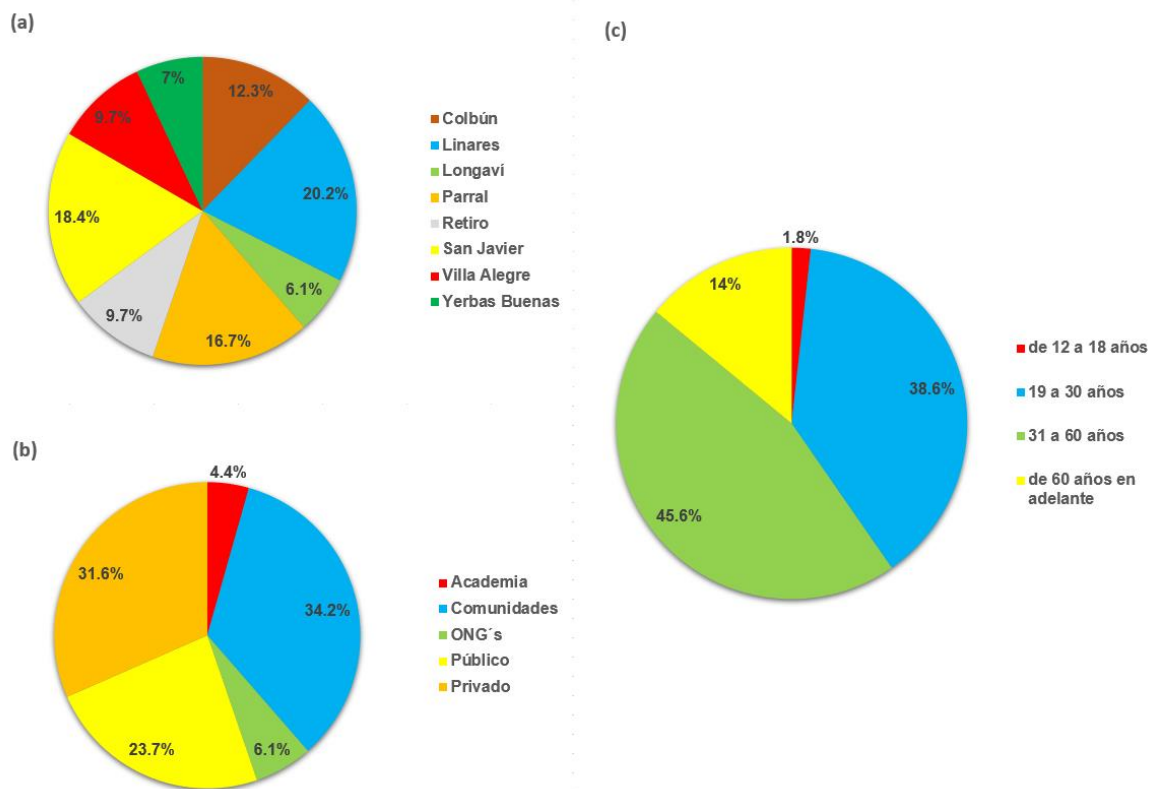


Figura 16. Representatividad de personas encuestas. (a) Representatividad comunal. (b) Representatividad de tipos de actores sociales. (c) Representatividad de rangos de edad.

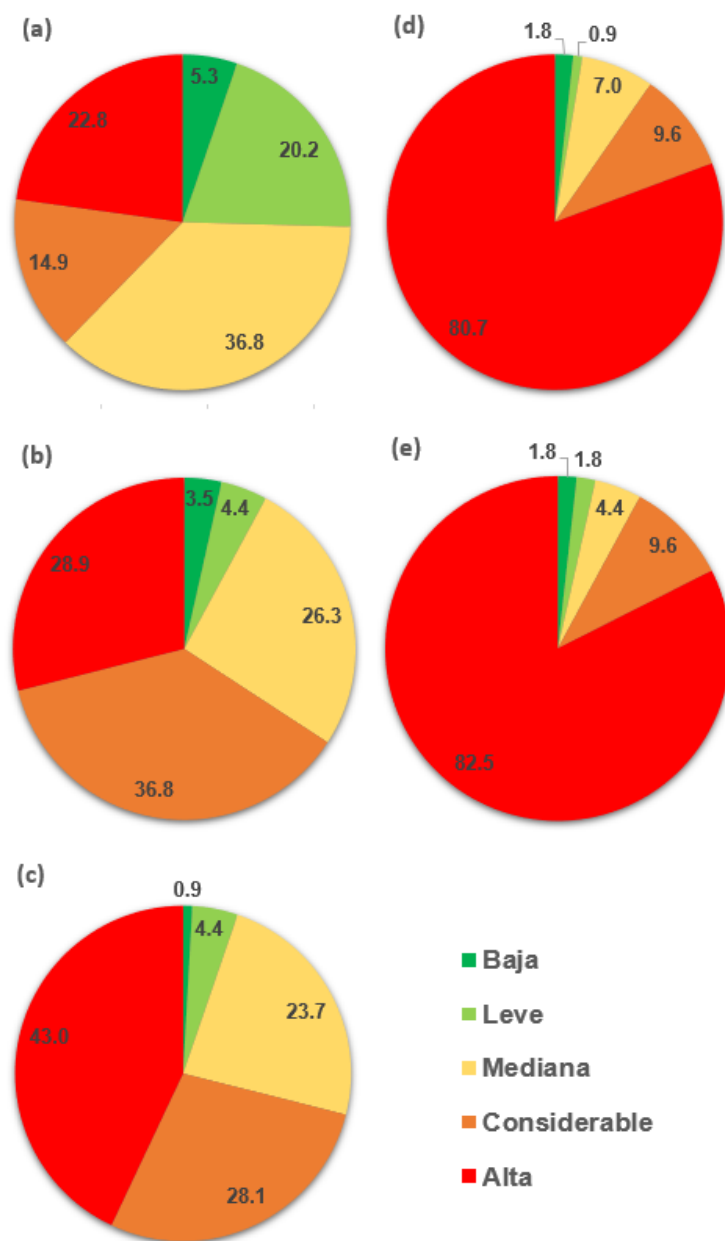


Figura 17. Frecuencia porcentual de los niveles de importancia de la escala *Likert* para los servicios ecosistémicos de regulación. (a) Control de erosión. (b) Regulación del clima. (c) Regulación del clima mediante la reducción de las concentraciones de gases de efecto invernadero. (d) Condición química de agua para beber. (e) Mantenición de flujos de agua.

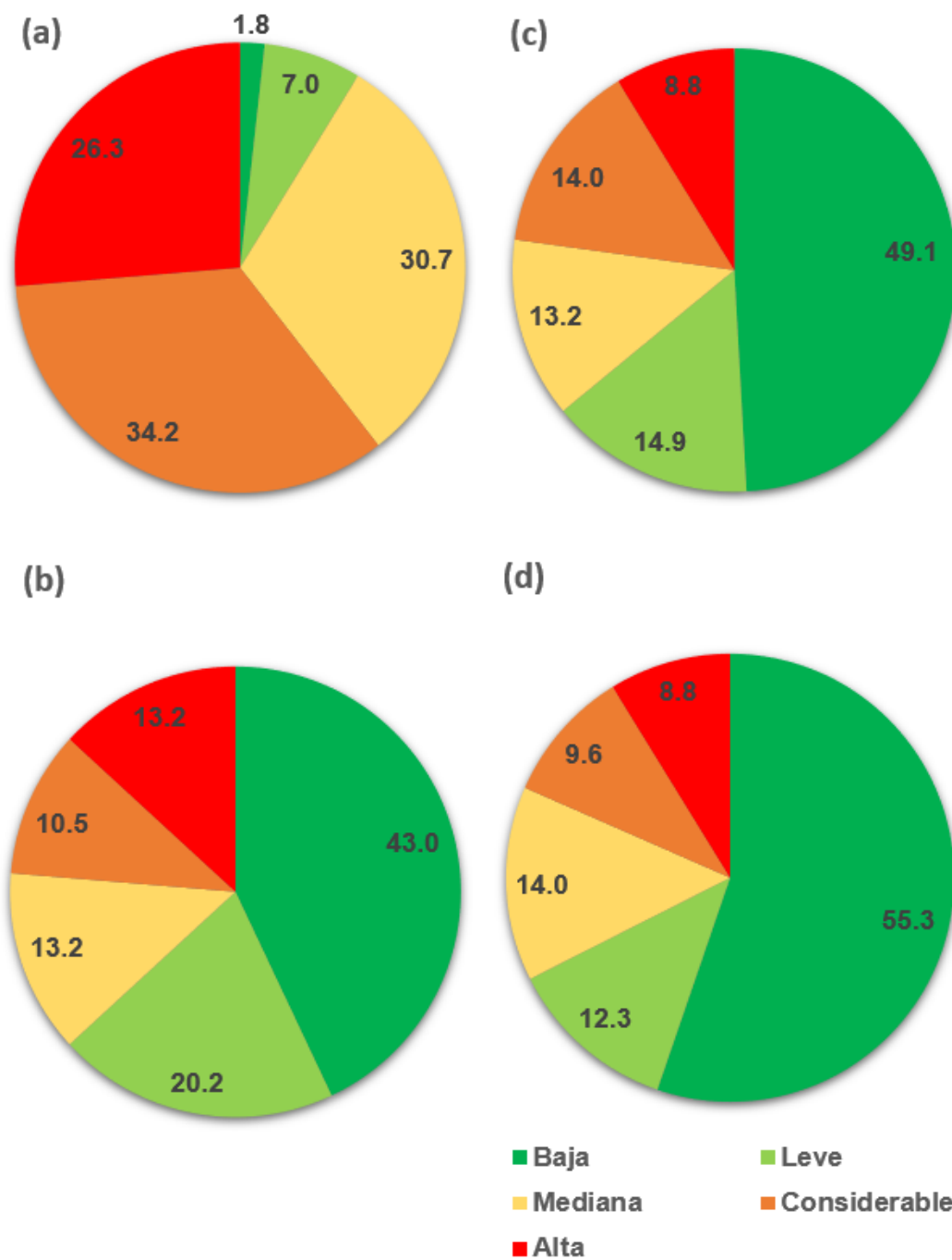


Figura 18. Frecuencia porcentual de los niveles de importancia de la escala *Likert* para los servicios ecosistémicos de provisión. (a) Plantas cultivadas. (b) Producción de madera aserrada. (c) Producción de leña. (d) Producción de celulosa.

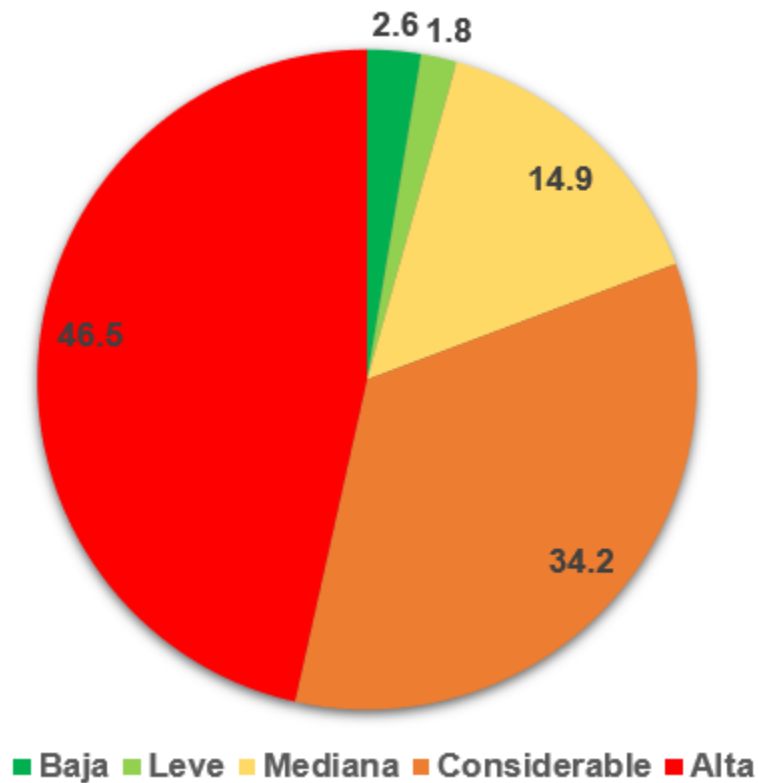


Figura 19. Frecuencia porcentual de los niveles de importancia de la escala *Likert* para el servicio ecosistémico cultural de entretenimiento.

Las percepciones de las personas encuestadas son sistematizadas para generar una ponderación de frecuencia para cada nivel de importancia de la escala *Likert*. La cual es multiplicada por una ponderación individual de cada valor de los niveles de importancia, esto resulta en una ponderación combinada para cada

SE (Tabla 9). Finalmente, sus valores se incluyen en el procesamiento de la priorización ponderada (Figura 21).

Tabla 9. Ponderación combinada para cada servicio ecosistémico resultante de la encuesta.

SE	Ponderación
Carbono	0,116
Leña	0,062
temperatura	0,109
Agua (Cantidad)	0,134
Erosión	0,094
Turismo	0,12
Pulpa	0,058
Agua (Calidad)	0,133
Alimento	0,107
Madera	0,066

3.4. Priorización espacial de servicios ecosistémicos.

Se identificaron distintas proporciones del paisaje zonificadas en 10 clases, las cuales poseen mayor prioridad al acercarse al decil superior, con valores entre 0,9 y 1 (color negro) (Figura 20). Para este decil se evidenció que representa el

10% más prioritario para la conservación de múltiples SE en la provincia de Linares, dicho de otra forma, las unidades geobiofísicas contenidas en la clase de color negro son las que brindan mayores contribuciones al bienestar humano, ya que sus coberturas y usos de suelo representan áreas de provisión de múltiples SE.

El efectuar acciones de conservación en ellas permite asegurar el funcionamiento de los ecosistemas y la provisión de los SE en el largo plazo. Cabe mencionar que, esta priorización no fue desarrollada con una ponderación para los SE, es decir, cada SE tiene la misma ponderación en el modelo del software ZONATION 4.0.

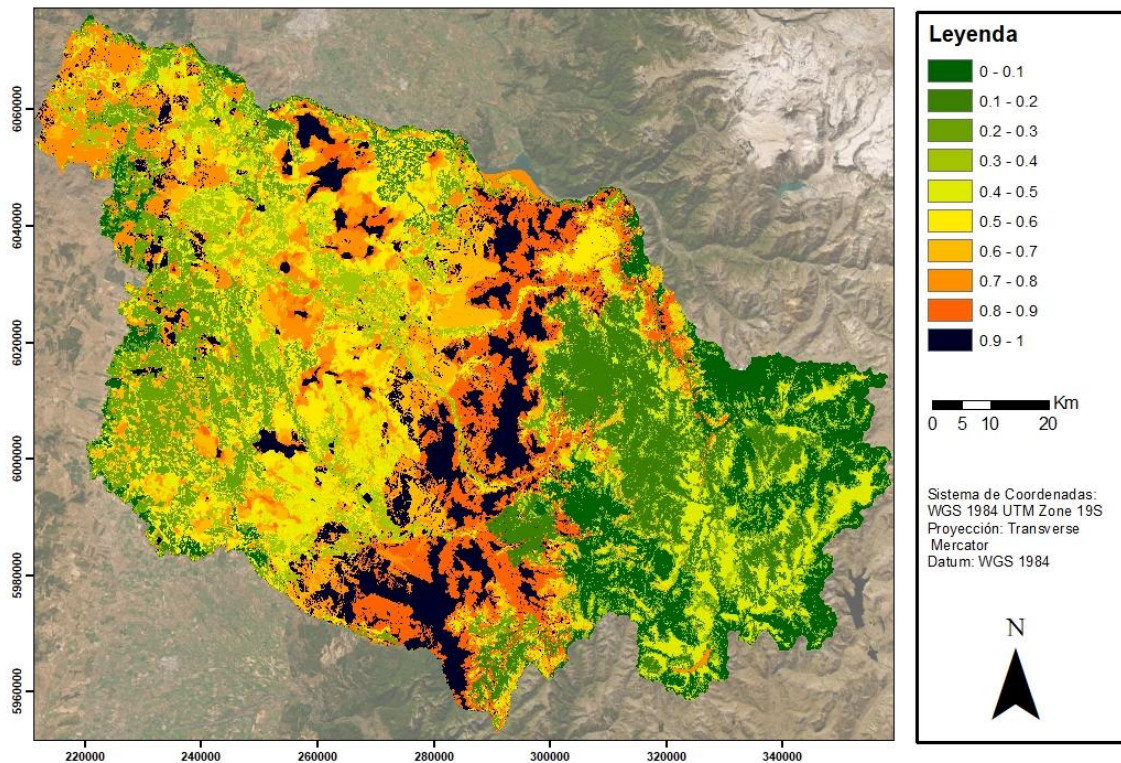


Figura 20. Priorización espacial de múltiples servicios ecosistémicos en la provincia de Linares (Sin ponderar).

Caso contrario, la priorización ponderada incluyó una ponderación combinada (Tabla 9) y se evidenció una variación en la zonificación de áreas de provisión de múltiples SE (Figura 21). Esta variación se ve influenciada por una ponderación de cada SE y otra ponderación para cada valor de importancia relativa de la escala *Likert* (de 1 a 5). En consecuencia, las zonas más prioritarias realzan la integración de una perspectiva sociocultural y un criterio ecológico. Al ponderar los SE permite a la superficie más prioritaria representar de forma más real las

percepciones de las personas. A su vez, permite aplicar en el área de estudio la técnica de remoción de celdas con los valores más altos de provisión para cada SE. En consecuencia, las coberturas que brindan mayor provisión de SE (ponderados por las personas como los más esenciales) fueron más valiosas en la priorización, lo que en el mapa se traduce en dos cambios principales para las áreas de alta provisión de SE: (i) Menor efecto borde, ya que la priorización sin ponderar tiene 6.584 km más de perímetro total que la priorización con ponderar, dada la diferencia de 20.403 sitios individuales de alta provisión entre ambas priorizaciones, además, el sitio con mayor tamaño de la priorización con ponderar es de 247 km² y sin ponderar es de 170 km². (ii) Mejor proporción de coberturas para conservar, puesto que, la priorización con ponderar tiene 129 km² más de ecosistemas naturales que la priorización sin ponderar, asimismo, tiene menos superficie de usos productivos agrícola y forestal. Al considerar el efecto de la información ponderada por las personas que habitan el territorio, se reduce la representación de áreas incendiadas, degradadas y fragmentadas dentro de las áreas más prioritarias de conservación de la provisión de SE.

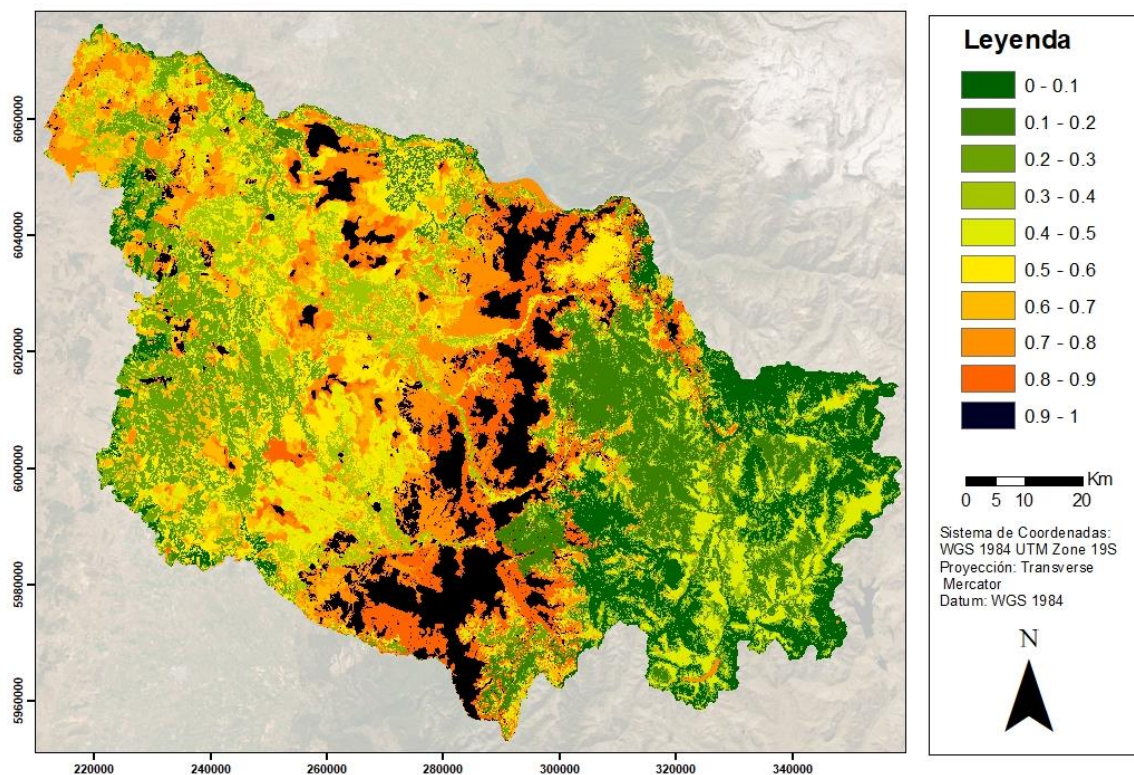


Figura 21. Priorización espacial de múltiples servicios ecosistémicos en la provincia de Linares (Ponderada por sus habitantes).

IV. DISCUSIÓN

4.1. Zonas prioritarias de SE

El presente estudio brinda un precedente para la integración de la participación ciudadana en la evaluación del paisaje local. Sin embargo, es necesario aclarar que la importancia que le otorgan las personas encuestadas a los múltiples SE evaluados refieren a una percepción única de la relación entre cada uno de los SE y el bienestar humano (Mascarenhas et al., 2014).

Las áreas de alta provisión en el presente estudio son comparables a los *hotspots* de SE, ya que muestran sinergias espaciales, las cuales permiten el desarrollo de opciones de conservación más eficientes en el paisaje (Egoh et al., 2008; Rodríguez-Echeverry et al., 2017). Esto es beneficioso para la conservación de la biodiversidad asociada y respalda la idea de desarrollar enfoques sistemáticos para la planificación de los SE (Egoh et al., 2008). Además, el presente estudio responde a la urgencia de priorizar esfuerzos de conservación a escala de paisaje y reafirma que existe una fuerte correlación entre la reducción de la diversidad de hábitat de bosques nativos y la disminución en la provisión de SE (Rodríguez-Echeverry et al., 2018).

4.2. Implicancias para la conservación

Evaluar el paisaje del territorio mediante procesos de priorización basada en SE, permite evidenciar de manera espacialmente explícita la heterogeneidad de los SE en la provincia de Linares, la cual si bien es determinada por las diferentes condiciones biofísicas y socioeconómicas de las comunas (de Groot et al., 2010), trae consecuencias para la gestión de los SE. La capacidad de desarrollar acciones para su conservación implica un intenso trabajo interseccional y transdisciplinario, que puede incrementar los gastos públicos si no se emplean las recomendaciones derivadas de los *hotspots* de SE (Egoh et al., 2008; Rodríguez-Echeverry et al., 2017; von Haaren et al., 2019).

El presente estudio, a través de un levantamiento de información que considera diversos límites administrativos, realza la importancia de la gobernanza local, en vista de que se suelen descuidar las consecuencias positivas de las estrategias de gestión sobre los SE (de Groot et al., 2010). La gobernanza local debe buscar que los paisajes, entendidos como sistemas socioecológicos, avancen hacia la sustentabilidad mejorando la resiliencia de los ecosistemas y el bienestar humano a largo plazo (Wu, 2021). También, puede beneficiar el desarrollo de distintos lineamientos estratégicos, como por ejemplo, la actualización e identificación de sitios prioritarios para la conservación, en el marco de la Estrategia Nacional de Biodiversidad (MMA, 2017). Mientras no se realice dicha

actualización, seguirán vigentes los sitios prioritarios para la conservación identificados en su versión del 2003, los cuales no fueron definidos a partir de áreas de alto valor ecológico y la provisión de SE. Avanzar en contribuir a este tipo de estrategias es necesario para la implementación de acciones de protección, restauración y manejo sustentable (MMA, 2017). Oportunamente, los sitios de alta provisión de múltiples SE identificados en el presente estudio coinciden espacialmente con tres de los sitios prioritarios propuestos en la Infraestructura ecológica para la región del Maule (Echeverría et al., 2018), los Bosques de Bullileo – Achibueno y Pejerreyes, los Bosques de Colorado y Bramadero, y la ampliación de la Reserva Nacional Los Bellotos. En consecuencia, se propone revisar de forma urgente la cartera de sitios prioritarios actuales y considerar la inclusión de los nuevos sitios propuestos en su actualización. Considerando que, estudios relacionados indican que gran parte del paisaje de la provincia de Linares, no es capaz de mantener la viabilidad de las poblaciones de especies nativas que habitan la región, además de no poder garantizar la provisión de SE de manera sostenida en el tiempo para el bienestar de las personas (Mancilla Ruiz et al., 2022).

Por otra parte, el concepto de SE ha sido ampliamente discutido durante la última década (Kulczyk et al., 2014) y su aplicación puede ser muy diversa, como en la planificación territorial y el turismo (Burkhard & Maes, 2017; Kulczyk et al., 2018). Sin embargo, en este último es donde las clasificaciones existentes limitan su

entendimiento y estudio al considerarlo como un SE único y no tratarlo como un fenómeno complejo (Kulczyk et al., 2014). En consecuencia, urge que la gestión recreativa de los territorios adopte un enfoque que integre aspectos sociales y ecológicos (Kulczyk et al., 2018; von Haaren et al., 2019). Más aún, en Chile donde se pueden vincular estas metodologías a, por ejemplo, la Estrategia de Desarrollo o la Política Pública de Turismo de la Región del Maule, para identificar prioridades de desarrollo con foco en el turismo sustentable y la protección de los ecosistemas (Fernández González, 2023; GORE, 2020). Igualmente, si consideramos que los recursos para la conservación de la biodiversidad en Chile son finitos, no es posible que se abarquen las principales problemáticas ambientales en el corto y mediano plazo. Por tal razón, la priorización espacial ponderada brinda un aporte hacia la vinculación de los SE a nuevos instrumentos de planificación territorial, considerando que de las ocho comunas que conforman la provincia, solo tres cuentan con un plan regulador comunal (PRC), siendo el más actual el de la comuna de Yerbos Buenas, publicado en el año 2018. Por otro lado,

4.3. Limitaciones del estudio

El estudio presenta limitaciones en tres aspectos principalmente. Primero, el alcance de la encuesta fue gestionado principalmente a través de la difusión informal, tales como, redes sociales y promoción presencial, esto generó que el

número de personas encuestadas fuera relativamente bajo en relación con la cantidad de habitantes en el área de estudio y que algunos sectores de la sociedad no se vieran correctamente representados. Además, la mayoría de las plataformas gratuitas para generar encuestas no brindan suficientes herramientas para sistematizar datos, en consecuencia, el uso de *softwares* alternativos para apoyar el flujo de trabajo disminuye la eficacia del procesamiento de la información. Finalmente, la acción de representar cualquier variable del mundo real en los SIG, en este caso SE y priorización espacial, considera un inherente error, en la medida que se utilicen nuevas tecnologías de información geográfica (TIG). El estudio podría mejorarse significativamente si se implementara financiamiento para: (i) sistematizar los datos en plataformas más eficientes y con mejor interfaz de generación de encuestas y recopilación de datos, tales como, *SurveyMonkey*, (ii) elaborar talleres participativos en las distintas comunas del área de estudio que amplíen el alcance y el entendimiento de la encuesta a través de la educación ambiental y el diálogo comunitario, (iii) desarrollar metodologías que integren las TIG como eje fundamental en la medición y cuantificación de datos.

4.4. Recomendaciones

A modo de recomendación para futuras investigaciones se puede indicar que:

1. Es crucial incluir las nuevas TIG en los procesos de cuantificación y mapeo de SE con el fin de hacerlos más eficientes y precisos, por ejemplo, la teledetección en la nube de GEE tiene un gran potencial para estos estudios.
2. Urge una planificación ecológica del territorio fundamentada en SE, que incluya estrategias de adaptación y mitigación frente al cambio climático, que desarrolle enfoques vinculantes que consideren las tendencias espaciales que muestran este tipo de estudios.

V. CONCLUSIONES

El presente estudio representa una contribución directa a la sustentabilidad del territorio y ofrece una aproximación para saber dónde es prioritaria la conservación de ciertos tipos de ecosistemas en la provincia de Linares. En el presente estudio, los resultados mostraron que las zonas cubiertas con bosques nativos adulto y secundario en la precordillera de la provincia merecen especial consideración para el desarrollo de enfoques que promuevan su protección, gestión y restauración. Por otro lado, la actualización periódica de coberturas y usos de suelos es imprescindible para evaluar el estado actual del paisaje y es de vital importancia poder replicarlo para otras provincias, con el fin de identificar a tiempo los cambios en la biodiversidad. Esta orientación es esencial para garantizar la provisión continua de múltiples SE en el largo plazo. De igual forma, urge avanzar en el desarrollo de políticas públicas que integren perspectivas multifuncionales, intersectoriales y transdisciplinarias para la planificación del paisaje.

VI. GLOSARIO

- Antropoceno: Es una época geológica actual en la que los humanos tienen un impacto significativo en el medio ambiente y en los ecosistemas.
- Cambio Ambiental global: alude a cambios generalizados en el clima, los ecosistemas y los recursos naturales del mundo, causados principalmente por actividades humanas, como la emisión de gases de efecto invernadero.
- Capacidad potencial: Es la capacidad intrínseca de un sistema o recurso para realizar ciertas funciones o proporcionar ciertos beneficios.
- Escala Likert: Es un tipo de escala de medición de importancia a través de números, generalmente de 1 a 5, utilizando frecuentemente en encuestas y cuestionarios.
- Especies exóticas invasoras: Son organismos que se introducen a un ecosistema al cual no pertenecen, compiten con especies locales y alteran el equilibrio ecológico.
- Hotspot de servicios ecosistémicos: son áreas con una alta concentración de servicios ecosistémicos que son vitales para el bienestar humano.
- Infraestructura ecológica: es una red interconectada del paisaje, que incluye corredores biológicos y hábitats naturales que albergan la biodiversidad y aseguran la provisión de servicios ecosistémicos.

- Intersectorial: Se refiere a la colaboración o coordinación entre diferentes sectores o áreas de actividad, como el estado, las empresas y la sociedad civil.
- Impulsores: Son factores o fuerzas que promueven o causan cambios en un sistema.
- Multifuncional: Alude a algo que tiene varias funciones o usos.
- Planificación del paisaje: Es el proceso de diseñar y gestionar el uso del suelo y los recursos naturales en un área determinada para optimizar sus funciones ecológicas.
- Ponderación combinada: Es un método que combina diferentes criterios o factores para asignar peso o importancia a los distintos elementos evaluados.
- Servicios ecosistémicos: son los beneficios que los seres humanos obtienen de la naturaleza, como el agua de los ríos y los alimentos.
- Sustentabilidad: Es la capacidad de satisfacer las necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras, en aspectos ambientales, sociales y económicos.
- Transdisciplinario: Se relaciona con la integración de conocimientos y métodos de diferentes disciplinas para abordar problemas complejos desde múltiples perspectivas.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Aguayo, M., Pauchard, A., Azócar, G., & Parra, O. (2009). Cambio del uso del suelo en el centro sur de Chile a fines del siglo XX: Entendiendo la dinámica espacial y temporal del paisaje. *Revista chilena de historia natural*, 82(3), 361-374.
- Arroyo, M. T., Marquet, P. A., Marticorena, C., Cavieres, L. A., Squeo, F. A., Simonetti Zambelli, J. A., Rozzi, R., & Massardo, F. (2006). El hotspot chileno, prioridad mundial para la conservación. Diversidad de ecosistemas, ecosistemas terrestres.
- Balmford, A., Rodrigues, A. S., Walpole, M., ten Brink, P., Kettunen, M., Braat, L., & Groot, R. (2008). *The economics of ecosystems and biodiversity: scoping the scale*.
- Burgi, M., Silbernagel, J., Wu, J. G., & Kienast, F. (2015, Jan). Linking ecosystem services with landscape history [Article]. *Landscape Ecology*, 30(1), 11-20. <https://doi.org/10.1007/s10980-014-0102-3>
- Burkhard, B., & Maes, J. (2017). Mapping ecosystem services. *Advanced books*, 1, e12837.
- Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., & Maginnis, S. (2016). Nature-based solutions to address global societal challenges. *IUCN: Gland, Switzerland*, 97, 2016-2036.
- Council, O. (2000). Europe. European landscape convention. Eur. Treaty Ser,
- De Groot, R. S. (1992). *Functions of nature: evaluation of nature in environmental planning, management and decision making*. Wolters-Noordhoff BV.
- De Groot, R. S., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L., & Willemsen, L. (2010, Sep). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making [Article; Proceedings Paper]. *Ecological Complexity*, 7(3), 260-272. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2009.10.006>

- Díaz, S., Demissew, S., Carabias, J., Joly, C., Lonsdale, M., Ash, N., Larigauderie, A., Adhikari, J. R., Arico, S., & Báldi, A. (2015). The IPBES Conceptual Framework—connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 1-16.
- Doll, U., Aedo, D., Vallejos, O., San Martín, J., Soto, L., & Urzúa, I. (2011). Informe final: Evaluación de la sustentabilidad de intervenciones silvícolas tradicionales en el tipo forestal Roble-Hualo.
- Echeverría, C., Coomes, D., Salas, J., Rey-Benayas, J. M., Lara, A., & Newton, A. (2006). Rapid deforestation and fragmentation of Chilean Temperate Forests. *Biological Conservation*, 130(4), 481-494. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.01.017>
- Echeverría, C., Fuentes, R., De la Barrera, F., Aguayo, M., Engler, A., Garrido, P., Vega, D., & Herrera, A. (2018). Informe Final Proyecto "Planificación Ecológica de la Infraestructura Ecológica de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos y Programa Regional de Prioridades de Restauración Ecológica en el Contexto de los Incendios de la Temporada 2016–2017: Aplicación en Región del Maule". *Universidad de Concepción*.
- Echeverría, C., Newton, A., Nahuelhual, L., Coomes, D., & Rey-Benayas, J. M. (2012). How landscapes change: Integration of spatial patterns and human processes in temperate landscapes of southern Chile. *Applied Geography*, 32(2), 822-831.
- Egoh, B., Reyers, B., Rouget, M., Richardson, D. M., Le Maitre, D. C., & van Jaarsveld, A. S. (2008). Mapping ecosystem services for planning and management. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 127(1-2), 135-140.
- Fernández González, V. C. (2023). Estudio de las estrategias de desarrollo Regional del Maule 1967 y 2023.
- 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. (2005). Global consequences of land use. *science*, 309(5734), 570-574.

Gajardo, R. (1995). *La vegetación natural de Chile: clasificación y distribución geográfica*. Editorial Universitaria Santiago, Chile.

GORE. (2020). Informe Final Política Pública de Turismo de la Región del Maule.

Grimm, N. B., Chapin III, F. S., Bierwagen, B., Gonzalez, P., Groffman, P. M., Luo, Y., Melton, F., Nadelhoffer, K., Pairis, A., & Raymond, P. A. (2013). The impacts of climate change on ecosystem structure and function. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(9), 474-482.

Gutman, G., Janetos, A. C., Justice, C. O., Moran, E. F., Mustard, J. F., Rindfuss, R. R., Skole, D., Turner II, B. L., & Cochrane, M. A. (2004). *Land change science: observing, monitoring and understanding trajectories of change on the earth's surface* (Vol. 6). Springer Science & Business Media.

Haberl, H., Erb, K. H., Krausmann, F., Gaube, V., Bondeau, A., Plutzer, C., Gingrich, S., Lucht, W., & Fischer-Kowalski, M. (2007). Quantifying and mapping the human appropriation of net primary production in earth's terrestrial ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(31), 12942-12947.

Haines-Young, R., & Potschin, M. (2010). The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being. *Ecosystem Ecology: a new synthesis*, 1, 110-139.

[Record #33 is using a reference type undefined in this output style.]

Keeley, J. E. (2009). Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage. *International journal of wildland fire*, 18(1), 116-126.

Kelley, K., Clark, B., Brown, V., & Sitzia, J. (2003). Good practice in the conduct and reporting of survey research. *International Journal for Quality in health care*, 15(3), 261-266.

Key, C., & Benson, N. (2006). Landscape Assessment: Ground measure of severity, the composite burn index; and remote sensing of severity, the normalized burn ratio. Pp. LA1-LA51. *FIREMON: Fire Effects Monitoring*

and Inventory System. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Ogden, UT.

Kukkala, A. S., & Moilanen, A. (2013). Core concepts of spatial prioritisation in systematic conservation planning. *Biological Reviews*, 88(2), 443-464.

Kulczyk, S., Woźniak, E., & Derek, M. (2018). Landscape, facilities and visitors: An integrated model of recreational ecosystem services. *Ecosystem Services*, 31, 491-501.

Kulczyk, S., Wozniak, E., Kowalczyk, M., & Derek, M. (2014). Ecosystem services in tourism and recreation. Revisiting the classification problem. *Ekonomia i Środowisko*(4 [51]).

Lehtomäki, J., & Moilanen, A. (2013). Methods and workflow for spatial conservation prioritization using Zonation. *Environmental Modelling & Software*, 47, 128-137.

Liu, J., & Taylor, W. W. (2002). *Integrating landscape ecology into natural resource management*. Cambridge University Press.

Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). *Geographic information science and systems*. John Wiley & Sons.

Luebert, F., & Pliscoff, P. (2006). *Sinopsis bioclimática y vegetal de Chile*. Editorial Universitaria.

Maes, J., Teller, A., Erhard, M., Liqueste, C., Braat, L., Berry, P., Egoh, B., Puydarrieux, P., Fiorina, C., & Santos, F. (2013). Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services. *An analytical framework for ecosystem assessments under action*, 5, 1-58.

Mancilla Ruiz, D., González Paz, S., Virano Reyes, P., & De la Barrera Melgarejo, F. (2022). Nuevas oportunidades de conservación y restauración en un paisaje rural-urbano degradado de la región del Maule (Chile) mediante imágenes Sentinel 2. *Revista Universitaria de Geografía*, 31(2), 77-108.

Margules, C. R., & Pressey, R. L. (2000). Systematic conservation planning. *Nature*, 405(6783), 243-253.

Mascarenhas, A., Ramos, T. B., Haase, D., & Santos, R. (2014). Integration of ecosystem services in spatial planning: a survey on regional planners' views. *Landscape Ecology*, 29, 1287-1300.

McIntyre, S., & Hobbs, R. (1999). A framework for conceptualizing human effects on landscapes and its relevance to management and research models. *Conservation biology*, 13(6), 1282-1292.

MEA. (2003). Ecosystem and human well-being: a framework for assessment. *World Resources Institute, Washington, DC*.

MEA. (2005). *Ecosystems and human well-being* (Vol. 5). Island press Washington, DC.

[Record #12 is using a reference type undefined in this output style.]

[Record #140 is using a reference type undefined in this output style.]

MMA. (2023). LEY 21.600 CREA EL SERVICIO DE BIODIVERSIDAD Y ÁREAS PROTEGIDAS Y EL SISTEMA NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS.

Moilanen, A., & Arponen, A. (2011). Administrative regions in conservation: balancing local priorities with regional to global preferences in spatial planning. *Biological Conservation*, 144(5), 1719-1725.

[Record #110 is using a reference type undefined in this output style.]

ONU. (2021). Contabilidad de los Ecosistemas del Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica. Publicación con cubiertas blancas, texto sin revisión editorial.

Otavo, S., & Echeverría, C. (2017). Fragmentación progresiva y pérdida de hábitat de bosques naturales en uno de los hotspot mundiales de biodiversidad. *Revista mexicana de biodiversidad*, 88(4), 924-935.

- Pereira, H. M., Leadley, P. W., Proença, V., Alkemade, R., Scharlemann, J. P., Fernandez-Manjarrés, J. F., Araújo, M. B., Balvanera, P., Biggs, R., & Cheung, W. W. (2010). Scenarios for global biodiversity in the 21st century. *science*, 330(6010), 1496-1501.
- Pörtner, H. O., Roberts, D. C., Adams, H., Adler, C., Aldunce, P., Ali, E., Begum, R. A., Betts, R., Kerr, R. B., & Biesbroek, R. (2022). *Climate change 2022: impacts, adaptation and vulnerability*.
- Potschin-Young, M., Haines-Young, R., Görg, C., Heink, U., Jax, K., & Schleyer, C. (2018). Understanding the role of conceptual frameworks: Reading the ecosystem service cascade. *Ecosystem Services*, 29, 428-440.
- Potschin, M., & Haines-Young, R. (2017). 2.3. From nature to society. *Mapping Ecosystem Services*, 41.
- Pressey, R. L., Cabeza, M., Watts, M. E., Cowling, R. M., & Wilson, K. A. (2007). Conservation planning in a changing world. *Trends in Ecology & Evolution*, 22(11), 583-592.
- Pullin, A. S., Knight, T. M., Stone, D. A., & Charman, K. (2004). Do conservation managers use scientific evidence to support their decision-making? *Biological Conservation*, 119(2), 245-252.
- QUÉTIER, F., Tapella, E., Conti, G., CáCERES, D., & DÍAZ, S. (2007). Servicios ecosistémicos y actores sociales. Aspectos conceptuales y metodológicos para un estudio interdisciplinario. *Gaceta ecológica*(84-85), 17-26.
- Rea, L. M., & Parker, R. A. (2014). *Designing and conducting survey research: A comprehensive guide*. John Wiley & Sons.
- Reed, J., Ickowitz, A., Chervier, C., Djoudi, H., Moombe, K., Ros-Tonen, M., Yanou, M., Yuliani, L., & Sunderland, T. (2020). Integrated landscape approaches in the tropics: A brief stock-take. *Land Use Policy*, 99, 104822.

- Reenberg, A. (2006). Land systems research in Denmark: Background and perspectives. *Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography*, 106(2), 1-6.
- Reynolds, J. F., Smith, D. M. S., Lambin, E. F., Turner, B., Mortimore, M., Batterbury, S. P., Downing, T. E., Dowlatabadi, H., Fernández, R. J., & Herrick, J. E. (2007). Global desertification: building a science for dryland development. *science*, 316(5826), 847-851.
- Rodríguez-Echeverry, J., Echeverría, C., Oyarzún, C., & Morales, L. (2017). Congruencias espaciales entre biodiversidad y servicios ecosistémicos en un paisaje forestal en el sur de Chile: bases para la planificación de la conservación. *Bosque (Valdivia)*, 38(3), 495-506.
- Rodríguez-Echeverry, J., Echeverría, C., Oyarzún, C., & Morales, L. (2018). Impact of land-use change on biodiversity and ecosystem services in the Chilean temperate forests. *Landscape Ecology*, 33, 439-453.
- Rojstaczer, S., Sterling, S. M., & Moore, N. J. (2001). Human appropriation of photosynthesis products. *science*, 294(5551), 2549-2552.
- Runting, R. K., Bryan, B. A., Dee, L. E., Maseyk, F. J., Mandle, L., Hamel, P., Wilson, K. A., Yetka, K., Possingham, H. P., & Rhodes, J. R. (2017). Incorporating climate change into ecosystem service assessments and decisions: a review. *Global change biology*, 23(1), 28-41.
- Sánchez, R., Briones, M. J., Gamboa, A., Monsalve, R., Berroeta, D., & Valenzuela, L. (2023). Delimitación de áreas quemadas en Chile a partir de umbrales dNBR ajustados según región y cubiertas del suelo. *Revista de Teledetección*(61), 43-58.
- Sarricolea, P., Herrera-Ossandon, M., & Meseguer-Ruiz, Ó. (2017). Climatic regionalisation of continental Chile. *Journal of Maps*, 13(2), 66-73.
- Scholes, R. J. (2016). Climate change and ecosystem services. *WIREs Climate Change*, 7(4), 537-550. <https://doi.org/10.1002/wcc.404>

- Selman, P. (2010). Centenary paper: Landscape planning—Preservation, conservation and sustainable development. *The Town Planning Review*, 381-406.
- Steffen, W., Persson, Å., Deutsch, L., Zalasiewicz, J., Williams, M., Richardson, K., Crumley, C., Crutzen, P. J., Folke, C., & Gordon, L. (2021). The anthropocene: From global change to planetary stewardship (2011). *Paul J. Crutzen and the Anthropocene: A New Epoch in Earth's History*, 145-174.
- TEEB. (2010). TEEB—la economía de los ecosistemas y la biodiversidad. *Revista Ambienta*. Recuperado de: <http://www.revistaambienta.es/WebAmbienta/marm/Dinamicas/secciones/articulos/Pavan.htm>.
- Turner, R. K., & Daily, G. (2008). The ecosystem services framework and natural capital conservation. *Environmental and resource economics*, 39, 25-35.
- [Record #114 is using a reference type undefined in this output style.]
- Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J., & Melillo, J. M. (1997). Human domination of Earth's ecosystems. *science*, 277(5325), 494-499.
- von Haaren, C., Lovett, A. A., & Albert, C. (2019, Jul). Landscape Planning with Ecosystem Services. *Springer Nature B.V.*, 24. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-94-024-1681-7>
- Wallace, K. J. (2007). Classification of ecosystem services: problems and solutions. *Biological Conservation*, 139(3-4), 235-246.
- Watson, R., Baste, I., Larigauderie, A., Leadley, P., Pascual, U., Baptiste, B., Demissew, S., Dziba, L., Erpul, G., & Fazel, A. (2019). Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. *IPBES Secretariat: Bonn, Germany*, 22-47.

- Whitehead, P. G., Wilby, R. L., Battarbee, R. W., Kernan, M., & Wade, A. J. (2009). A review of the potential impacts of climate change on surface water quality. *Hydrological sciences journal*, 54(1), 101-123.
- Wilson, K. A., McBride, M. F., Bode, M., & Possingham, H. P. (2006). Prioritizing global conservation efforts. *Nature*, 440(7082), 337-340.
- Wu, J. (2021). Landscape sustainability science (II): core questions and key approaches. *Landscape Ecology*, 36, 2453-2485.
- Wu, J. G. (2013, Jul). Landscape sustainability science: ecosystem services and human well-being in changing landscapes [Article]. *Landscape Ecology*, 28(6), 999-1023. <https://doi.org/10.1007/s10980-013-9894-9>

