

CONSERVACIÓN Y TURISMO EN LA ARAUCANÍA: EVALUACIÓN DE CAPACIDAD DE CARGA EN SENDEROS DE ÁREAS PROTEGIDAS

*Ricardo González-Vásquez**

Corporación Nacional Forestal. Chile
<https://orcid.org/0009-0007-2430-6994>

RESUMEN

El estudio evalúa la capacidad de carga de 68 senderos en áreas protegidas de la Araucanía, Chile, incorporando factores de corrección precisos, la temporalidad de los flujos de visitantes y una nueva aproximación a la capacidad de manejo (CM). La capacidad de carga varía de 4.870 visitantes diarios en temporada estival, a 1.350 en temporada invernal, revelando brechas principalmente debido a la CM. Se sugiere implementar un monitoreo estacional para seguimiento continuo y futuras investigaciones que ajusten estrategias de manejo según cambios en ecosistemas y patrones de visitación.

Palabras clave: capacidad de carga; capacidad de manejo; degradación; medioambiente; planificación; senderos; sostenibilidad.

Conservation and tourism in the Araucanía: carrying capacity assessment in trails of protected areas

ABSTRACT

The study evaluates the carrying capacity of 68 trails in protected areas of the Araucanía, Chile, incorporating precise correction factors, the seasonality of visitor flows, and a new approach to management capacity (MC). The carrying capacity ranges from 4,870 daily visitors in summer to 1,350 in winter, revealing gaps primarily due to MC limitations. It is

Fecha de recepción: 12 de noviembre de 2024.

Fecha de aceptación: 27 de marzo de 2025.

* Departamento de Áreas Silvestres Protegidas. Corporación Nacional Forestal. Región de la Araucanía. Chile. E-mail: ra.gonzalezvasquez@gmail.com.

suggested to implement seasonal monitoring for continuous tracking and future research to adjust management strategies based on changes in ecosystems and visitation patterns.

Keywords: carrying capacity; degradation; environment; management capacity; planning; sustainability; trails.

1. INTRODUCCIÓN

Una de las estrategias de conservación global más efectivas corresponde a la creación de áreas protegidas, de las cuales se han instaurado un total de 302.934 en el planeta, cubriendo el 16,30% de la superficie terrestre y el 8,35% del área marina (UNEP-WCMC y UICN, 2024). A nivel mundial existe un constante incremento en el número de turistas que visitan estas áreas protegidas (Balmford *et al.*, 2015). En ellas, la capacidad del turismo para generar ingresos y empleos puede funcionar como importante incentivo para conservar y gestionar áreas naturales intactas más que modificarlas o destruirlas para producir otro tipo de productos, pudiendo ofrecer además una forma única y fundamental para promover la conexión entre turistas y los valores de las áreas protegidas (Leung *et al.*, 2019). Sin embargo, así como el turismo puede ofrecer una gran cantidad de beneficios, si no se gestiona adecuadamente puede ocasionar también muchos impactos nocivos tanto al medio natural como a las comunidades locales (Leung *et al.*, 2019). Bajo ese contexto, es importante mencionar que, a menudo, el turismo en áreas protegidas deriva en la degradación del ambiente, ejerciendo impactos negativos crónicos sobre éste y reduciendo a su vez el potencial para el propio desarrollo del turismo (Barros *et al.*, 2015; Newsome, 2021). Una de las estrategias clave para disminuir tal degradación corresponde a establecer límites en el flujo de usuarios determinando el uso máximo que puede hacerse de un área sin dañar sus recursos ni disminuir los niveles de satisfacción de los turistas (Leung *et al.*, 2019).

En este contexto, se han desarrollado diversas metodologías de capacidad de carga, como Recreation Opportunities Spectrum (ROS; Clark y Stankey, 1979), Limits of Acceptable Change (LCA; Stankey *et al.*, 1985), Visitor Activity Management Process (VAMP; Graham *et al.*, 1988), Visitor Impact Management (VIM; Kuss *et al.*, 1990), Tourism Carrying Capacity (TCC; Cifuentes *et al.*, 1999), Visitor Experience and Resource Protection (VERP; US Department of the Interior, 1997), y Tourism Optimization Management Model (TOMM; Manidis Roberts Consultants, 1997), entre otras, evidenciando que no hay acuerdo sobre los métodos de medición y cuantificación, ni sobre los umbrales de permisibilidad que se consideran para cada caso, pues depende de los objetivos, recursos disponibles y del uso que se le quiera conceder al área (Matos-Márquez y Pérez-Colmenares, 2019). En este sentido, la CCT desarrollada por Cifuentes *et al.* (1999) emerge como uno de los métodos más utilizados (Ajuhari *et al.*, 2023; e.g., Díaz-Valdez *et al.*, 2024; Matos *et al.*, 2023), debido a que las otras metodologías mencionadas se enfocan más a la calidad de la experiencia del visitante, requiriendo recursos humanos y financieros no menores, limitando su real aplicabilidad y desarrollo (Barra-Rocha *et al.*, 2021). Sumado a lo anterior, es importante mencionar el creciente interés en la aplicación

de la CCT en los últimos años (Ajuhari *et al.*, 2023), caracterizado como un indicador efectivo para planificar y gestionar, ya que permite prever y adecuar las actuaciones a las características del medio y velar por que estas sean acordes a su fragilidad, facilitando a futuro el establecimiento de un monitoreo constante y la permanencia del área en el tiempo (Matos-Márquez y Pérez-Colmenares, 2019).

Dentro de la capacidad de carga turística, los senderos recreativos se encuentran entre los tipos de infraestructura más importantes en las áreas protegidas (Tomczyk y Ewertowski, 2013), ya que desempeñan un papel crucial en la gestión al ser uno de los principales puntos de interacción entre los visitantes y el entorno natural (Salazar *et al.*, 2023). Sin embargo, el aumento de la cantidad de visitantes ha llevado a que los senderos se expandan de forma no planificada y aumente la presión ambiental a lo largo de éstos, causando no sólo impactos directos en el entorno natural, sino que también impactos indirectos en múltiples procesos ecológicos, por lo que determinar una cantidad apropiada de uso de los senderos por parte de los visitantes para evitar impactos ecológicos inaceptables es determinante para un buen manejo de las áreas protegidas (Chang *et al.*, 2023).

En Chile, la región de la Araucanía destaca al ser la que cuenta con la mayor cantidad de áreas protegidas, incluyendo algunas de las más visitadas, reflejando tanto su importancia para la conservación como su atractivo para los visitantes. Además, alberga ecosistemas únicos y de gran relevancia ecológica, añadiendo un nivel adicional de importancia a su gestión. Dada su relevancia, las áreas protegidas presentes en la región de la Araucanía enfrentan desafíos significativos en términos de manejo de visitantes y conservación, por lo que la implementación de metodologías de capacidad de carga es crucial para gestionar los impactos derivados y garantizar que el uso de estas áreas no comprometa su integridad ecológica.

En el contexto descrito, y con el fin de contribuir al desarrollo de estrategias que prevengan daños o la degradación de ecosistemas, y aseguren la conservación a largo plazo, el presente estudio tiene por objetivo determinar la capacidad de carga turística de los senderos en las áreas protegidas presentes en la región de la Araucanía.

El estudio incluye ajustes de la metodología de Cifuentes *et al.* (1999) mediante la incorporación de factores de corrección menos subjetivos, la consideración de la temporalidad de los flujos de visitantes, y un nuevo enfoque de aproximación a la capacidad de manejo. Además, la metodología propuesta permite analizar simultáneamente un gran número de áreas protegidas mediante el uso de análisis geoespacial, optimizando considerablemente recursos y tiempo requeridos. Se espera que el estudio sirva como insumo para evaluar y ajustar las prácticas de gestión de visitantes, promoviendo la conservación efectiva y el disfrute sostenible. Este enfoque también podría servir como modelo para otras áreas, contribuyendo al desarrollo de estrategias de conservación y manejo que respondan a las presiones de los visitantes.

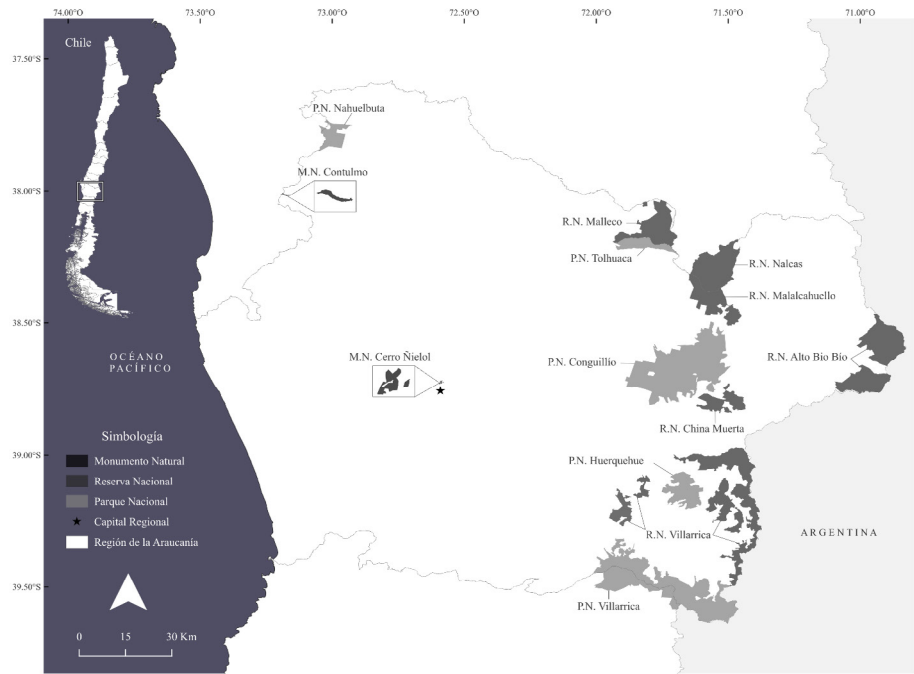
2. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende las áreas protegidas públicas administradas por la Corporación Nacional Forestal pertenecientes a la región de la Araucanía (Figura 1). Con una superficie de 314.974 ha. equivalente al 9,35% de la superficie total regional, la región

cuenta con 13 áreas protegidas: 5 Parques Nacionales, 6 Reservas Nacionales y 2 Monumentos Naturales, las cuales tienen la misión de proteger ecosistemas representativos y sus especies de flora y fauna asociadas, preservando un valioso patrimonio biológico (CONAF, 2024).

Las áreas protegidas ubicadas en la precordillera y cordillera de los Andes, correspondientes a las Reservas Nacionales Alto Bio Bío, China Muerta, Malalcahuello, Malleco, Nalcas y Villarrica, y los Parques Nacionales Conguillío, Huerquehue, Tolhuaca y Villarrica, se caracterizan por presentar relieves abruptos, numerosos hitos geográficos de origen glacial, volcanes, ríos, saltos de agua, bajos grados de intervención y altos grados de naturalidad (Alfaro-Castillo y Peña-Cortés, 2012). El Parque Nacional Nahuelbuta y el Monumento Natural Contulmo se encuentran ubicados en la cordillera de la Costa, la cual es biogeográficamente muy relevante ya que se mantuvo libre de procesos periglaciares durante los eventos glaciares del Cuaternario, esto permitió el refugio y desarrollo de una rica diversidad de especies de flora y fauna endémicas (Smith-Ramírez, 2004). Por su parte, el Monumento Natural Cerro Nielol corresponde a la única área emplazada en la depresión intermedia de la región, caracterizándose por encontrarse dentro del radio urbano de la capital regional, la ciudad de Temuco (Pincheira-Ulbrich *et al.*, 2021).

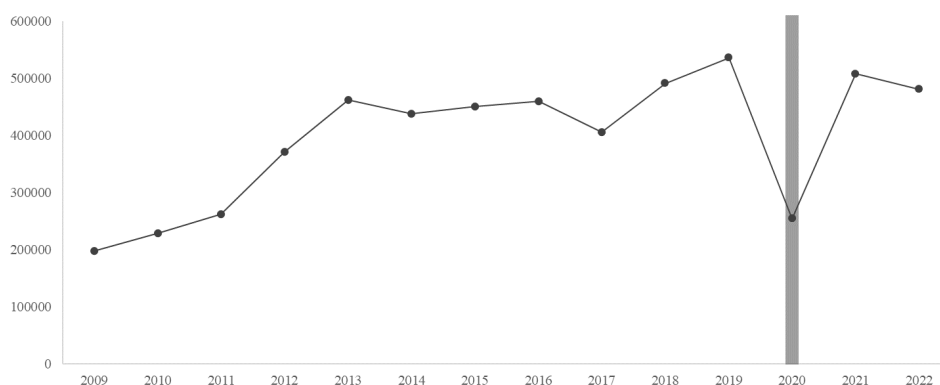
Figura 1
ÁREAS PROTEGIDAS DE ADMINISTRACIÓN PÚBLICA PRESENTES EN LA
REGIÓN DE LA ARAUCANÍA, CHILE



Fuente: Elaboración propia.

Considerando que la estadística del año 2020 se ve disminuida naturalmente debido al impacto que tuvieron las restricciones impuestas debido al SARS-CoV-2 (Rivas-Ortega *et al.*, 2021), los flujos de visitantes dentro de estas áreas protegidas presentan valores observados claramente en aumento durante la última década (Figura 2), evidenciando la necesidad de incluir este componente en una estrategia de gestión de la actividad para una planificación adecuada, lo cual permita no desplazar los objetivos de conservación, primordiales en un área protegida.

Figura 2
TENDENCIA EN LA VISITACIÓN A ÁREAS PROTEGIDAS DE LA REGIÓN DE LA ARAUCANÍA, CHILE, PERÍODO 2009-2022. LA BANDA SOMBRADA INDICA LA ANOMALÍA EN LOS REGISTROS DE VISITACIÓN DEBIDO AL SARS-COV-2

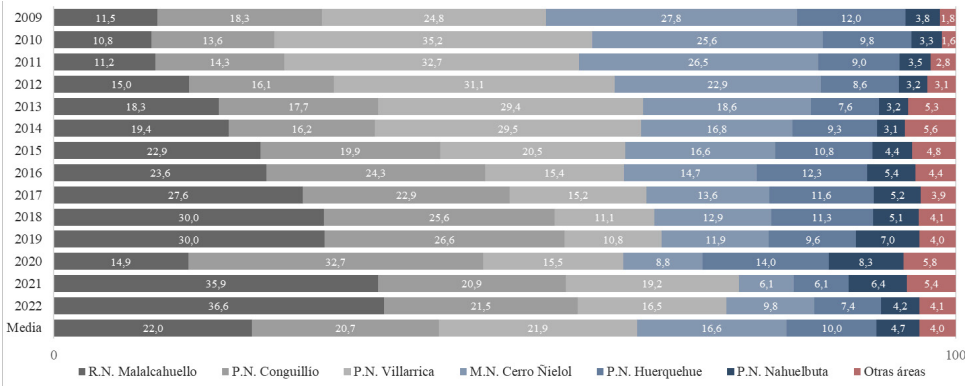


Fuente: Elaboración propia en base a SERNATUR (2024).

Al desagregar la estadística se evidencia que áreas como la R.N. Malalcahuello y el P.N. Conguillío han concentrado un alto porcentaje de visitas en los últimos años, alcanzando, en algunos casos, hasta un 58,10% de las visitas totales de manera conjunta, mientras que otras áreas (P.N. Tolhuaca, R.N. Villarrica, M.N. Contulmo, R.N. China Muerta, R.N. Malleco, R.N. Alto Bio-Bío y R.N. Nalcas) han mantenido una visitación muy baja (Figura 3). Esta distribución desigual sugiere que las áreas de mayor visita pueden estar sometidas a una mayor presión sobre sus recursos e infraestructuras, lo que incrementa el riesgo de degradación ambiental. Aunque la estadística de visitación no se encuentra desagregada a nivel diario, de acuerdo con observaciones proporcionadas directamente por los administradores de las áreas protegidas, se presentan fluctuaciones significativas en el flujo de visitantes a lo largo del año. Los administradores reportan que, durante ciertos periodos, como fines de semana y feriados, la afluencia de visitantes aumenta considerablemente, saturando en ocasiones algunas áreas protegidas. En contraste, en días de semana o fuera de altas temporadas, el número de visitantes es considerablemente menor, e incluso muy bajo en algunas áreas protegidas. Esta variabilidad en los flujos de visitantes, reportada por los administradores y basada en la experiencia directa en el terreno, destaca la necesidad de estrategias de gestión que consideren la estacionalidad y las fluctuaciones

de estos flujos, a fin de optimizar el uso de la infraestructura y mitigar posibles impactos ambientales en momentos de alta concurrencia.

Figura 3
DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE VISITAS EN ÁREAS PROTEGIDAS DE LA REGIÓN DE LA ARAUCANÍA, CHILE, PERÍODO 2009-2022



Fuente: Elaboración propia en base a SERNATUR (2024).

3. METODOLOGÍA

La Capacidad de Carga Turística fue determinada considerando los senderos dentro de cada área protegida en base a la metodología desarrollada por Cifuentes *et al.* (1999), los cuales establecen el número máximo de visitas que puede recibir un área según sus condiciones físicas, biológicas, ambientales, sociales y de manejo. El proceso consta de tres niveles: Capacidad de Carga Física (CCF), Capacidad de Carga Real (CCR) y la Capacidad de Carga Efectiva (CCE).

Basado en las estaciones predominantes y cómo se agrupan los meses en función de las características climáticas más amplias que afectan las actividades realizadas por los visitantes y los ciclos naturales, para este estudio fueron considerados dos períodos con diferencias marcadas, el período estival (noviembre-abril), el cual presenta temperaturas más cálidas y mayor actividad biológica y de visitantes, y el período invernal (mayo-octubre), que presenta temperaturas más frías y condiciones más adversas para el desarrollo de actividades por parte de los visitantes en las áreas protegidas bajo estudio. Esta división se basa en la idea de que los períodos no solo cubren sus meses más intensos, sino también los periodos de transición inmediata hacia y desde estas estaciones.

3.1. Capacidad de Carga Física

Corresponde al límite máximo de visitas que se pueden realizar a un sitio definido durante un período de tiempo determinado, dada por la relación entre factores de visita (horario y tiempo de visita), espacio disponible y necesidad de espacio por visitante

(Cifuentes *et al.*, 1999). Para su estimación fue considerado el tiempo de apertura de las áreas protegidas (8 horas al día), y si el flujo de visitantes se desarrollaba en uno o dos sentidos, dependiendo de si el sendero es bidireccional o unidireccional. Su estimación fue realizada mediante la fórmula: $CCF = (mt/sp) * nv$, donde mt es la longitud del sendero en metros, sp es el espacio requerido por cada persona en el sendero (considerando 1 metro por persona (Cifuentes *et al.*, 1999)), y nv corresponde al número de veces que una persona puede recorrer el sendero en un día, ésta fue estimada mediante la fórmula: $nv = hv/tv$, donde hv corresponde al tiempo de apertura del área protegida, y tv al tiempo necesario para recorrer el sendero.

3.2. Capacidad de Carga Real

Corresponda al límite máximo de visitas, luego de someter la CCF a una serie de factores de corrección particulares para cada sendero (F_c), como se muestra en la siguiente expresión matemática: $CCR = CCF * (F_{c1} * F_{c2} * F_{c3} * F_{cn})$. Los F_c utilizados aquí son los siguientes.

El F_c accesibilidad (F_{cacc}) considera el grado de dificultad que podrían tener los visitantes para desplazarse por los senderos, debido a la pendiente (Cifuentes *et al.*, 1999). Para la estimación de esta variable fue utilizado un modelo digital de elevación (Alos Palsar, obtenido desde IDE (2024)), el que fue procesado con el objetivo de obtener la pendiente presente en cada uno de los senderos. Debido al accidentado entorno topográfico donde se encuentran establecidas las áreas protegidas, se consideró como grado de dificultad en el acceso aquellos tramos de los senderos con pendientes $> 20^\circ$ (adaptado de Sayan y Atik (2011)). Por lo tanto, para el cálculo del F_{cacc} fue utilizada la siguiente fórmula: $F_{cacc} = 1 - (mda/mt)$, donde mt son los metros totales de sendero, y mda corresponde a los metros de sendero que presentan dificultad en el acceso.

El F_c anegamiento (F_{cane}) tiene en cuenta el impedimento en la visitación regular a causa de presencia de exceso de agua en el suelo (Ibañez-Pérez, 2016), dado que, cuando el agua se estanca, el tráfico de visitantes tiende a aumentar los daños en los senderos (Cifuentes *et al.*, 1999). Para la obtención de la longitud de los senderos con problemas de anegamiento fue estimado el Índice de Humedad Topográfica (TWI), indicativo de la tendencia del suelo a la generación de escorrentías (Roa y Kamp, 2012), obtenido mediante el procesamiento de un modelo digital de elevación (Alos Palsar, obtenido desde IDE (2024)). Para el cálculo del F_c anegamiento fue considerada la siguiente fórmula: $F_{cane} = 1 - (msa/mt)$, donde msa corresponde a los metros de sendero con problemas de anegamiento, y mt a los metros totales de sendero.

El F_c biológico (F_{cbio}) tiene en cuenta cómo la presencia y los flujos de visitantes afectan directa e indirectamente a las especies que se encuentran en las áreas protegidas. Debido a su condición ectotérmica, baja vagilidad y alta filopatría, los anfibios son extremadamente sensibles a los cambios ambientales (Campbell-Grant *et al.*, 2020). Esta sensibilidad, combinada con la continua pérdida y degradación de sus hábitats y la propagación de enfermedades emergentes, ha llevado actualmente a muchas poblaciones de anfibios a experimentar disminuciones globales y una crisis de extinción (Catenazzi, 2015; Luedtke *et al.*, 2023). El F_{cbio} considera la restricción de los flujos de visitantes a

causa de períodos de reproducción de especies de anfibios que se encuentren bajo alguna categoría de amenaza susceptibles de ser impactadas (clasificadas según MMA (2024)), debido a que este grupo en particular constituye un indicador efectivo y particularmente sensible a cambios inducidos en sus ambientes naturales (Gibbons *et al.*, 2000). La presencia de especies de anfibios con problemas de conservación según área protegida fue obtenida desde las líneas de base presentes en los planes de manejo de las áreas protegidas evaluadas (CONAF, 2024), así como del registro de presencias de la Red del Fondo Mundial de Información sobre Biodiversidad (GBIF, 2024). Para el cálculo del F_{cbio} fue considerada la siguiente fórmula: $F_{\text{cbio}}=1-(\text{habl}/\text{ht})$, donde habl corresponde a las horas totales de actividad biológica limitante según período (estival/invernal), y ht representa las horas totales en que los senderos están abiertos según el período considerado. En Chile, los anfibios pueden tener horarios de actividad biológica que varían según la especie y el hábitat en el que se encuentren, sin embargo, y en general, muchos anfibios son más activos durante la tarde, noche y en las primeras horas de la mañana, especialmente durante los meses más cálidos del año (Vidal y Labra, 2008; Garin y Hussein, 2013), por lo que para la estimación de este F_c se consideran 5 horas de habl dentro de ht y a su vez, un período de reproducción que abarca desde inicios de primavera hacia casi fines del verano (en base a lo descrito por Soto *et al.* (2008)).

El F_c erosión (F_{cero}) se basa en la vulnerabilidad del suelo a ésta, la cual varía en función de la pendiente presente, la desprotección vegetal, así como la susceptibilidad al riesgo físico y topoclimático (Flores *et al.*, 2010). Para la determinación de esta variable fue utilizada la información espacializada de riesgo de erosión, generada por el Centro de Información de Recursos Naturales (Flores *et al.*, 2010). Para el cálculo del F_{cero} fue considerada la siguiente fórmula: $F_{\text{cero}}=1-(\text{me}/\text{mt})$, donde mt corresponde a los metros totales de sendero, y me corresponde a los metros del sendero que presentan grados de erosión.

El F_c nival (F_{cniv}) se fundamenta en la necesidad de limitar la visitación a causa de períodos donde existe acumulación de nieve (Jangra y Kaushik, 2021), ya que afecta la apertura y estado tanto de senderos como caminos, además de la visibilidad por parte de los visitantes. Para conocer la ocurrencia y tendencia en el tiempo de las acumulaciones de nieve fueron obtenidos datos grillados desde el Servicio de Datos Climáticos de Copérnicus (Hersbach *et al.*, 2023). De estos datos fue obtenido el promedio de días que presentaban acumulación de nieve para el período 2020-2022 en cada celda. Esta variable fue reescalada debido a su gruesa resolución (20 km) en base a la variable elevación (12,5 m; IDE, 2024) con la que presenta una correlación adecuada (Aranda *et al.*, 2023). Para el cálculo del F_{cniv} fue considerada la siguiente fórmula: $F_{\text{cniv}}=1-(\text{han}/\text{ht})$, donde han corresponde a las horas totales de acumulación de nieve según período (estival/invernal), y ht representa las horas totales en que los senderos están abiertos según el período considerado.

El F_c por precipitación (F_{cpre}) tiene en cuenta la limitación en la visitación debido a precipitaciones intensas. Las tasas de visitación se ven reducidas (Barra-Rocha *et al.*, 2021) ya que gran parte de los visitantes no están dispuestos a desplazarse bajo la lluvia (Cifuentes *et al.*, 1999). Para conocer la ocurrencia y tendencia en el tiempo de los períodos de precipitación fueron obtenidos datos grillados desde el Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2 (Boisier, 2024). De estos datos fue obtenido el promedio

de precipitación diaria acumulada para el período 2017-2021 en cada celda para cada día del año (4 km resolución). Para el cálculo del F_{cpre} fue considerada la siguiente fórmula: $F_{cpre}=1-(hpl/ht)$, donde ht representa las horas totales en que los senderos están abiertos según el período considerado (estival/invernal), y hpl es la cantidad de horas con precipitaciones limitantes durante el mismo período. Para determinar hpl se consideraron 4 horas de precipitación limitante dentro de ht para días con precipitaciones mayores a 15 mm (adaptado de Barra-Rocha *et al.* (2021)).

El F_c social (F_{csoc}) se fundamenta en la necesidad de gestionar la visitación turística para garantizar tanto la calidad de la experiencia como la satisfacción de los visitantes (Cifuentes *et al.*, 1999). Para lograr un mejor control del flujo de visitantes, se optó por organizar las visitas en grupos con un máximo de 10 personas, manteniendo una distancia de 50 metros entre cada grupo (Cifuentes, 1992). Este enfoque busca optimizar la experiencia de los turistas y minimizar el impacto en los entornos naturales. Para el cálculo del F_{csoc} fue considerada la siguiente fórmula: $F_{csoc}=1-(ml/mt)$, donde mt corresponde a los metros totales de sendero y ml a la magnitud limitante, la cual considera los metros totales del sendero que no pueden ser utilizados debido a la necesidad de mantener una distancia mínima entre grupos y personas (50 m entre grupos, y 1 m entre personas). Por lo tanto, para el cálculo de la magnitud limitante fue considerada la siguiente fórmula: $ml=(ps*sp)+(mg*ng)$, donde ps es el número total de personas que pueden estar presentes en el sendero ($ps = ng*pg$), sp es el espacio requerido por cada persona en el sendero, ng es el número de grupos que pueden estar presentes en el sendero, mg son los metros totales requeridos por cada grupo y pg es el total de personas por cada grupo.

El F_c temperatura (F_{ctem}) considera el impacto de las condiciones térmicas en la visitación regular, específicamente durante las horas del día en las que la temperatura es excesivamente alta. Esto se debe a que las visitas a sitios sin cobertura vegetal se vuelven dificultosas o incómodas bajo tales condiciones (Cifuentes *et al.*, 1999). Para la estimación de la longitud de los senderos sin cobertura vegetal fue procesada una variable de cobertura de suelo obtenida desde CONAF (2014). Para conocer la ocurrencia y tendencia en el tiempo de las temperaturas fueron obtenidos datos grillados desde el Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2 (Boisier, 2024). De estos datos fue obtenido el promedio de temperatura máxima diaria para el período 2016-2020 en cada celda para cada día del año (4 km resolución). Para el cálculo del F_{ctem} fue considerada la siguiente fórmula: $F_{ctem}=1-(htl/ht)*(msc/mt)$, donde ht corresponde a las horas totales en que los senderos se encuentran abiertos según el período considerado (estival/invernal), htl son las horas totales de temperatura limitante según período, msc son los metros de sendero sin cobertura y mt son los metros totales de sendero. Para determinar htl se consideraron 5 horas de temperatura limitante dentro de ht , considerando días con temperaturas mayores a 25 °C (adaptado de Ponce *et al.* (2021)).

3.3. Capacidad de Carga Efectiva

Corresponde al límite máximo de visitas que se pueden admitir considerando la CM presente en cada área protegida (Cifuentes *et al.*, 1999). Su estimación fue realizada mediante la fórmula: $CCE=CCR*CM$.

La CM es definida como el estado o condición actual que la administración de un área protegida posee para desarrollar sus actividades y objetivos (Cifuentes *et al.*, 1999). Para su aproximación intervienen variables como equipamiento, dotación de personal, financiamiento, infraestructura o instalaciones disponibles, entre otras (Cifuentes, 1992).

Para la estimación de la CM, se establecieron variables de infraestructura, equipamiento y personal, las cuales fueron seleccionadas por su facilidad de análisis y medición, y por relacionarse directamente con el manejo del flujo de visitantes. Según Cifuentes *et al.* (1999), aquellas variables son capaces de aportar elementos indicadores suficientes para realizar una buena aproximación.

Cada variable se encuentra constituida por cuatro criterios, cantidad, estado, localización y funcionalidad, a excepción de la variable personal, en la que solo fue considerado el criterio de cantidad.

El criterio cantidad corresponde a la relación entre lo existente y lo óptimo (Cifuentes *et al.*, 1999). El criterio estado se refiere a las condiciones de conservación y uso de cada componente, como el mantenimiento, limpieza y seguridad (Cifuentes *et al.*, 1999). El criterio localización es definido por la ubicación y distribución espacial apropiada de los componentes en el área, así como la facilidad de acceso a los mismos (Cifuentes *et al.*, 1999). El criterio funcionalidad corresponde a la práctica que un determinado componente tiene tanto para el personal como para los visitantes (Cifuentes *et al.*, 1999).

Los criterios estado, localización y funcionalidad fueron calificados en base a una escala porcentual adaptada de la Norma ISO 10004 por parte de Cifuentes *et al.* (1999), la cual ha sido utilizada en diversos estudios (e.g. Barra-Rocha *et al.*, 2021; Soria-Díaz *et al.*, 2022; Salazar *et al.*, 2023) (Cuadro 1).

Cuadro 1
ESCALA DE CALIFICACIÓN DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE LA
CAPACIDAD DE MANEJO

| Porcentaje | Valor | Calificación |
|------------|-------|----------------------------|
| <=35 | 0 | Insatisfactorio |
| 36-50 | 1 | Poco satisfactorio |
| 51-75 | 2 | Medianamente satisfactorio |
| 76-89 | 3 | Satisfactorio |
| >=90 | 4 | Muy satisfactorio |

Fuente: Elaboración propia en base a Cifuentes *et al.* (1999).

Cada uno de los componentes que forman parte de las variables infraestructura, equipamiento y personal que contienen las áreas protegidas fueron obtenidos directamente mediante consulta a los administradores de cada área protegida.

Ahora bien, para estimar la importancia real de cada una de las variables que componen la CM, así como para realizar una aproximación en cómo varía la interacción de las variables observadas bajo los períodos considerados (estival/invernal), ésta fue obtenida

considerando el peso ponderado de cada variable según período, quedando definido como: $CM=(it*p)+(et*p)+(pt*p)$, donde *it* corresponde al valor de la variable infraestructura según temporada (estival/invernal), *et* corresponde al valor de la variable equipamiento según temporada (estival/invernal), *pt* corresponde al valor de la variable personal según temporada (estival/invernal), y *p* corresponde al peso ponderado representativo de la importancia relativa de cada variable.

Para la estimación del valor de la importancia relativa de variable fue utilizada la evaluación multicriterio denominada Proceso de Análisis Jerárquico (AHP; Saaty, 1990) por su flexibilidad y facilidad de involucrar a diversos actores en el proceso de decisión. Con el fin de asignar pesos a las variables y validar desde diferentes perspectivas el proceso de toma de decisión se desarrolló una encuesta a expertos en planificación territorial, turismo y gestión de áreas protegidas, tanto de la academia como de la Corporación Nacional Forestal. Una vez conocidos los pesos asignados se realizó el cálculo de una matriz de prioridades relativas normalizada, a través de la cual se obtienen los índices y razón de consistencia de las respuestas, lo que permite dar una calificación final a cada una de las variables basándose en una evaluación consistente (Saaty, 1990).

Debido al gran tamaño de la R.N. Villarrica, P.N. Conguillío y P.N. Villarrica se optó por su división en sectores, para así representar de mejor manera la CM en cada uno de ellos.

El trabajo de corregir y homogeneizar senderos y Fc fue realizado en el software QGIS 3.4.11 (QGIS Development Team, 2024), mientras que los cálculos se efectuaron en el software R 4.3.0 (R Core Team, 2024).

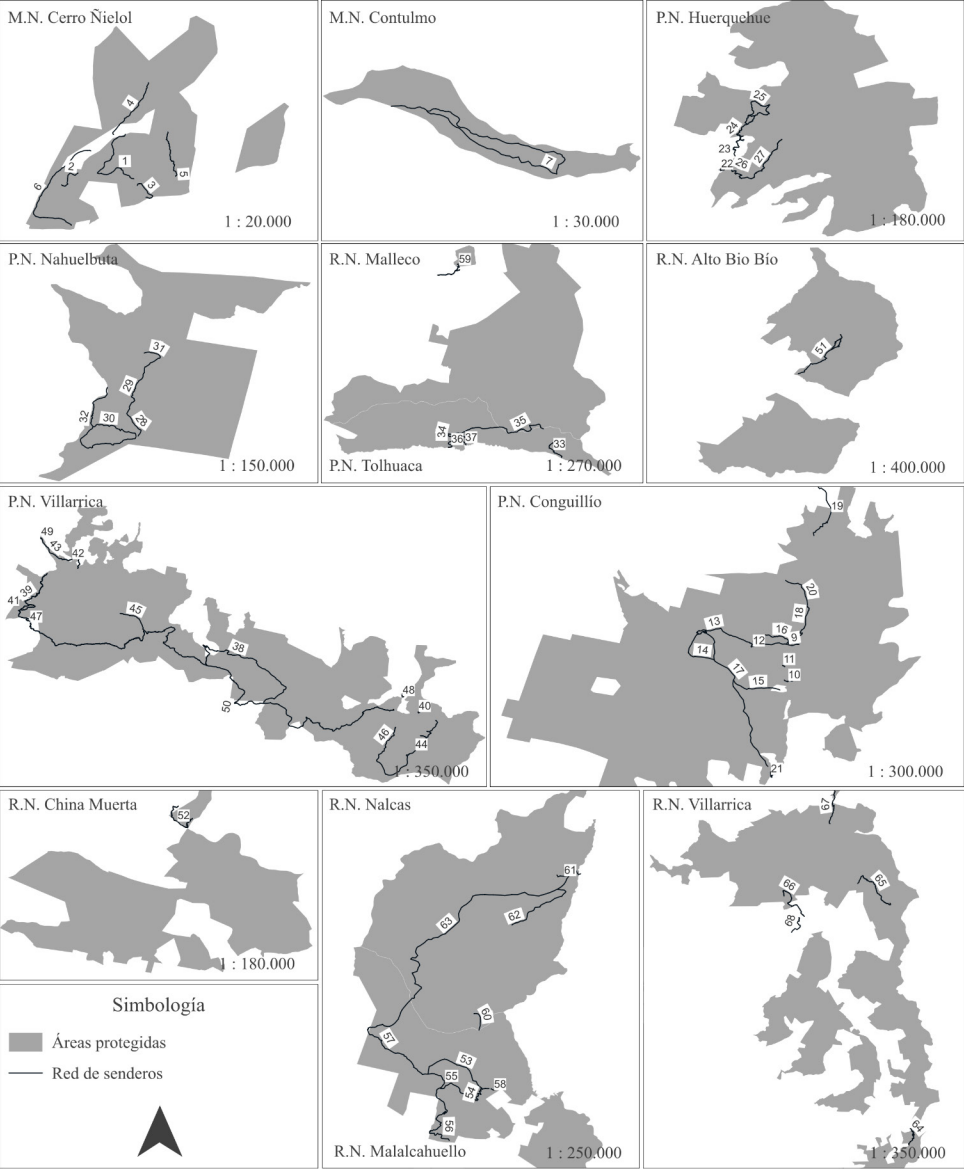
3. RESULTADOS

Aunque inicialmente se consideraron 89 senderos en las áreas protegidas, muchos de ellos no estaban habilitados, por lo que el análisis consideró un total de 68 senderos operativos (Figura 4).

Debido a la delimitación y longitud de cada sendero, los criterios de espacio por persona, los horarios de visita y tiempo estimado de desplazamiento de cada visitante durante el recorrido, la CCF obtenida se corresponde con el límite máximo del flujo de visitas que un determinado sendero puede soportar diariamente, sin embargo, es importante considerar que los criterios, al ser dinámicos, podrían modificarse en el transcurso del tiempo, e influenciar nuevos resultados (Cuadro 2).

Al observar los valores de los Fc, éstos presentan una clara variación entre senderos debido a que se relacionan con las características propias de cada uno (Figura 5). A modo general, los Fc que más afectaron la CCF y determinaron la CCR fueron Fcsoc, que incide directamente al establecer una visitación a través de grupos, Fcacc, explicado principalmente debido a que las áreas protegidas de la región se concentran mayoritariamente en zonas de precordillera y cordillera, presentando, por consecuencia, una variación de pendiente no menor en gran parte de sus senderos, lo que se traduce en mayores niveles de dificultad que deben enfrentar los usuarios, y Fcero, debido a que la gran mayoría de los senderos ya se encuentran afectados debido a su emplazamiento en zonas muy susceptibles a riesgos climáticos y físicos. Fcane, Fcniv, Fcppe y Fctem no afectaron en gran medida la CCF, sólo influenciaron puntualmente senderos con ausen-

Figura 4
RED DE SENDEROS OPERATIVOS PRESENTES EN ÁREAS PROTEGIDAS EVALUADAS

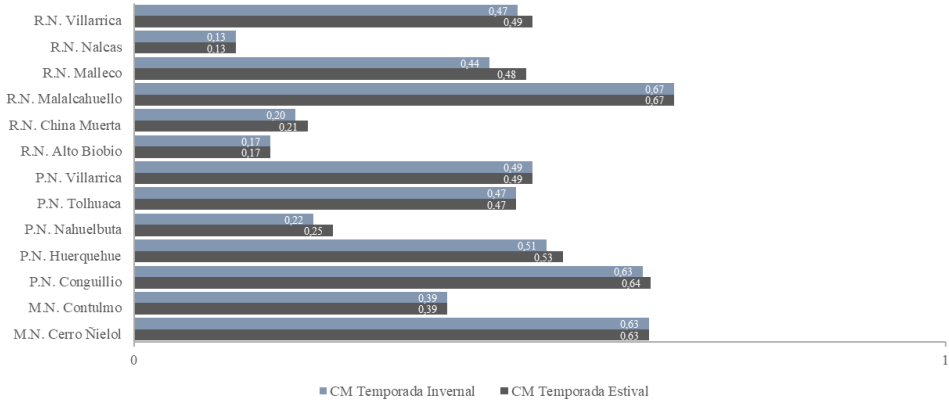


Fuente: Elaboración propia.

cia de cobertura de dosel además de aquellos susceptibles a anegarse temporalmente por precipitaciones y deshielos debido a su pendiente, ubicación y cercanía a cursos de agua (e.g. id senderos 16, 22, 33). Fcbio fue influyente en la CCF, principalmente en la temporada estival, coincidente con los periodos reproductivos de los anfibios, lo cual es clave para la supervivencia de sus especies. Su valor fue constante para casi todos los senderos debido a que fueron identificadas 13 especies nativas de anfibios con problemas de conservación (*Alsodes barrioi* Veloso, Díaz, Iturra, y Penna, 1981; *Alsodes igneus* Cuevas y Formas, 2005; *Alsodes verrucosus* Philippi, 1902; *Calyptocephalella gayi* Duméril y Bibron, 1841; *Eupsophus contulmoensis* Ortiz, Ibarra y Formas, 1989; *Eupsophus migueli* Formas, 1978; *Eupsophus nahuelbutensis* Ortiz y Ibarra, 1992; *Eupsophus roseus* Duméril y Bibron, 1841; *Eupsophus vertebralis* Grandison, 1961; *Rhinella arunco* Molina, 1782; *Rhinella rubropunctata* Guichenot, 1848; *Rhinoderma darwini* Duméril y Bibron, 1841; *Telmatobufo bullocki* Schmidt, 1952), las que se encontraban presentes en todas las áreas protegidas exceptuando la R.N. Alto Bio Bío. Durante este período, las perturbaciones podrían tener efectos desproporcionadamente negativos, como la disminución de la tasa de reproducción o la alteración de sus sitios de desarrollo, por lo que considerar este Fc en el ajuste de la capacidad de carga es esencial para la conservación de estas especies.

Respecto a la CM (Cuadro 2; Figura 6), los criterios estado, localización y funcionalidad fueron evaluados mediante entrevistas estructuradas a los administradores de cada área protegida. Para el criterio cantidad, se comparó la dotación actual de infraestructura, equipamiento y personal con los valores considerados óptimos, definidos según la experiencia de los administradores y la oficina regional de la institución, en función de los flujos turísticos observados y los requerimientos específicos de cada área. Los resultados de la evaluación multicriterio AHP muestran que, una vez obtenidos los valores de cada variable por área protegida, los expertos asignaron contribuciones moderadas a todas ellas. Según los pesos ponderados obtenidos, la variable pt fue la más relevante en la contribución a la CM de las áreas (36%), seguida de it (34%), mientras que et recibió el menor peso relativo (30%). Dado el reducido número de variables, la matriz presentó un índice de consistencia perfecto (valor 0). Respecto a los valores finales de CM, no se observan grandes diferencias entre temporadas, se obtuvo un valor promedio de 50,00%, indicando en primera instancia que, en general, los senderos están siendo manejados de manera razonablemente efectiva, pero aún existe margen para mejorar la gestión y optimización de los recursos. Sin embargo, al disgregar la capacidad de manejo según área protegida, se observa una gran heterogeneidad en los valores, indicando que existen diferencias significativas. Esto podría reflejar disparidad en la disponibilidad de recursos, la dificultad del manejo, o las condiciones específicas de cada área. Los valores más bajos (e.g. R.N. Nalcas, R.N. Alto Bio Bío, R.N. China Muerta, P.N. Nahuelbuta) señalan áreas que requieren una atención especial o una mejora en la gestión para evitar problemas como la sobrecarga o la degradación del entorno. Mientras que los valores máximos observados (e.g. P.N. Conguillío, R.N. Malalcahuello, M.N. Cerro Nielol), indican CM más cercanas al óptimo, lo cual podría servir como referencia o modelo para optimizar las capacidades en otras áreas.

Figura 6
CAPACIDADES DE MANEJO (CM) SEGÚN TEMPORADA Y ÁREA PROTEGIDA



Fuente: Elaboración propia.

La CCE obtenida presentó una amplia variabilidad entre diferentes senderos, áreas protegidas y temporadas (Cuadro 2). Este fenómeno se relaciona con diferencias en la habilitación temporal, cantidad, delimitaciones y formas de los senderos, sus condiciones físicas, climáticas, ambientales, y las CM que presentan. Los senderos identificados con CCE bajas corresponden a puntos críticos que requieren una gestión más estricta para prevenir su deterioro, ya que estos senderos podrían estar más propensos a sufrir impactos negativos si no se implementan medidas de control adecuadas. Por otro lado, se identifican senderos con alta CCE, los cuales podrían ser más aptos para recibir un mayor número de turistas, lo que podría ayudar a redistribuir la presión turística de manera más equitativa entre diferentes senderos, principalmente en aquellas áreas más visitadas, como el P.N. Conguillío (SERNATUR, 2024).

Cuadro 2
CAPACIDAD DE CARGA FÍSICA (CCF), DE MANEJO (CM), REAL (CCR) Y EFECTIVA (CCE) DIARIA DE CADA SENDERO (ID) SEGÚN TEMPORADA (ESTIVAL (EST)-INVERNAL (INV))

| Id | CCF | CCR | | CM | | CCE | |
|-------------------|------|-----|-----|------|------|-----|-----|
| | | Est | Inv | Est | Inv | Est | Inv |
| M.N. Cerro Ñielol | | | | | | | |
| 1 | 3458 | 89 | 108 | 0,63 | 0,63 | 57 | 69 |
| 2 | 3015 | 151 | 183 | 0,63 | 0,63 | 96 | 116 |
| 3 | 3115 | 240 | 290 | 0,63 | 0,63 | 152 | 184 |

| Id | CCF | CCR | | CM | | CCE | |
|-----------------|------|-----|-----|------|------|------|-----|
| | | Est | Inv | Est | Inv | Est | Inv |
| 4 | 2687 | 89 | 107 | 0,63 | 0,63 | 56 | 68 |
| 5 | 2211 | 73 | 88 | 0,63 | 0,63 | 46 | 56 |
| 6 | 4531 | 207 | 251 | 0,63 | 0,63 | 132 | 159 |
| Total | | | | | | 539 | 652 |
| M.N. Contulmo | | | | | | | |
| 7 | 8125 | 240 | 289 | 0,39 | 0,39 | 92 | 111 |
| Total | | | | | | 92 | 111 |
| P.N. Conguillío | | | | | | | |
| 8 | 2030 | 122 | 115 | 0,66 | 0,65 | 80 | 74 |
| 9 | 3835 | 157 | - | 0,66 | - | 104 | - |
| 10 | 3534 | 144 | 138 | 0,53 | 0,53 | 76 | 73 |
| 11 | 1991 | 92 | 90 | 0,53 | 0,53 | 48 | 47 |
| 12 | 3694 | 185 | 173 | 0,66 | 0,65 | 122 | 112 |
| 13 | 5602 | 175 | - | 0,69 | - | 121 | - |
| 14 | 2175 | 71 | - | 0,69 | - | 49 | - |
| 15 | 2406 | 107 | - | 0,69 | - | 74 | - |
| 16 | 8744 | 114 | - | 0,66 | - | 75 | - |
| 17 | 8209 | 370 | - | 0,59 | - | 218 | - |
| 18 | 3780 | 128 | 115 | 0,66 | 0,65 | 85 | 74 |
| 19 | 3712 | 122 | - | 0,66 | - | 81 | - |
| 20 | 1497 | 18 | - | 0,66 | - | 12 | - |
| 21 | 5039 | 320 | 350 | 0,59 | 0,59 | 188 | 206 |
| Total | | | | | | 1333 | 586 |
| P.N. Huerquehue | | | | | | | |
| 22 | 2719 | 99 | 105 | 0,53 | 0,51 | 52 | 53 |
| 23 | 5432 | 134 | 133 | 0,53 | 0,51 | 71 | 67 |
| 24 | 2287 | 90 | - | 0,53 | - | 48 | - |
| 25 | 3469 | 136 | 144 | 0,53 | 0,51 | 72 | 73 |
| 26 | 2700 | 68 | - | 0,53 | - | 36 | - |
| 27 | 2092 | 84 | - | 0,53 | - | 44 | - |
| Total | | | | | | 323 | 193 |
| P.N. Nahuelbuta | | | | | | | |
| 28 | 5392 | 368 | 394 | 0,25 | 0,22 | 90 | 87 |

| Id | CCF | CCR | | CM | | CCE | |
|-------------------|------|-----|-----|------|------|------|-----|
| | | Est | Inv | Est | Inv | Est | Inv |
| 29 | 1165 | 62 | 66 | 0,25 | 0,22 | 15 | 15 |
| 30 | 3213 | 143 | 153 | 0,25 | 0,22 | 35 | 34 |
| 31 | 4822 | 254 | 272 | 0,25 | 0,22 | 62 | 60 |
| 32 | 8487 | 351 | 376 | 0,25 | 0,22 | 86 | 83 |
| Total | | | | | | 289 | 279 |
| P.N. Tolhuaca | | | | | | | |
| 33 | 2116 | 92 | 96 | 0,47 | 0,47 | 43 | 45 |
| 34 | 3470 | 59 | 58 | 0,47 | 0,47 | 28 | 27 |
| 35 | 4604 | 243 | - | 0,47 | - | 114 | - |
| 36 | 5908 | 202 | 212 | 0,47 | 0,47 | 95 | 100 |
| 37 | 3373 | 103 | 108 | 0,47 | 0,47 | 49 | 51 |
| Total | | | | | | 329 | 223 |
| P.N. Villarrica | | | | | | | |
| 38 | 4569 | 347 | - | 0,41 | - | 141 | - |
| 39 | 6497 | 181 | - | 0,51 | - | 92 | - |
| 40 | 3937 | 134 | 112 | 0,47 | 0,47 | 64 | 53 |
| 41 | 3107 | 87 | 75 | 0,56 | 0,56 | 49 | 42 |
| 42 | 5627 | 252 | - | 0,47 | - | 119 | - |
| 43 | 1347 | 62 | 53 | 0,41 | 0,41 | 25 | 22 |
| 44 | 5065 | 257 | - | 0,51 | - | 130 | - |
| 45 | 7405 | 415 | 404 | 0,56 | 0,56 | 233 | 227 |
| 46 | 2702 | 199 | 193 | 0,47 | 0,47 | 94 | 91 |
| 47 | 6158 | 323 | - | 0,51 | - | 164 | - |
| 48 | 1914 | 100 | 87 | 0,47 | 0,47 | 48 | 41 |
| 49 | 2789 | 199 | 205 | 0,56 | 0,56 | 112 | 115 |
| 50 | 3873 | 203 | - | 0,47 | - | 96 | - |
| Total | | | | | | 1367 | 591 |
| R.N. Alto Bio Bío | | | | | | | |
| 51 | 5813 | 363 | 287 | 0,17 | 0,17 | 61 | 48 |
| Total | | | | | | 61 | 48 |
| R.N. China Muerta | | | | | | | |
| 52 | 3211 | 110 | 93 | 0,21 | 0,20 | 23 | 19 |
| Total | | | | | | 23 | 19 |

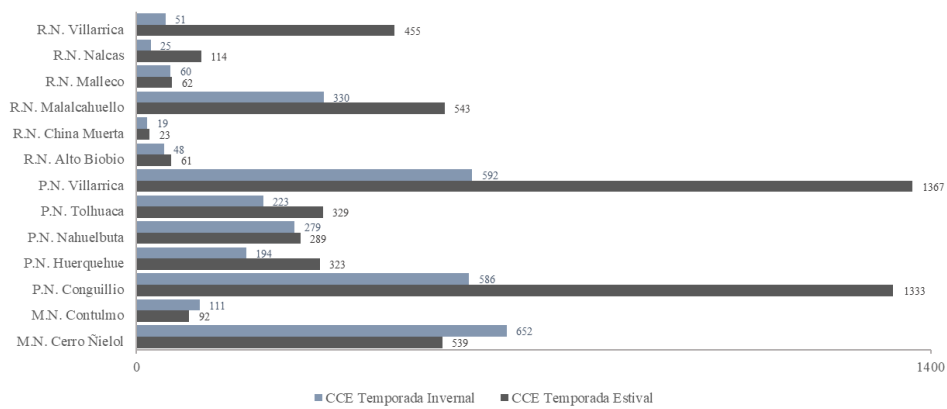
| Id | CCF | CCR | | CM | | CCE | |
|--------------------|-------|-----|-----|------|------|-----|-----|
| | | Est | Inv | Est | Inv | Est | Inv |
| R.N. Malalcahuello | | | | | | | |
| 53 | 4312 | 234 | 221 | 0,67 | 0,67 | 155 | 147 |
| 54 | 5153 | 243 | - | 0,67 | - | 161 | - |
| 55 | 2884 | 121 | 109 | 0,67 | 0,67 | 81 | 72 |
| 56 | 5112 | 137 | 130 | 0,67 | 0,67 | 91 | 86 |
| 57 | 2180 | 41 | 36 | 0,67 | 0,67 | 27 | 24 |
| 58 | 1759 | 41 | - | 0,67 | - | 28 | - |
| Total | | | | | | 510 | 329 |
| R.N. Malleco | | | | | | | |
| 59 | 3139 | 129 | 136 | 0,48 | 0,44 | 62 | 60 |
| Total | | | | | | 62 | 60 |
| R.N. Nalcas | | | | | | | |
| 60 | 4799 | 203 | 199 | 0,13 | 0,13 | 25 | 25 |
| 61 | 4956 | 261 | - | 0,13 | - | 33 | - |
| 62 | 4079 | 70 | - | 0,13 | - | 9 | - |
| 63 | 10792 | 374 | - | 0,13 | - | 47 | - |
| Total | | | | | | 114 | 25 |
| R.N. Villarrica | | | | | | | |
| 64 | 4937 | 225 | - | 0,58 | - | 131 | - |
| 65 | 3245 | 85 | - | 0,58 | - | 50 | - |
| 66 | 5550 | 241 | - | 0,58 | - | 141 | - |
| 67 | 2320 | 151 | - | 0,58 | - | 72 | - |
| 68 | 3077 | 124 | 110 | 0,58 | 0,56 | 61 | 51 |
| Total | | | | | | 455 | 51 |

Fuente: Elaboración propia.

Al analizar los resultados según área protegida (Figura 7), éstos muestran una variabilidad significativa en la CCE y entre las temporadas estival e invernal. En la temporada estival, las áreas con mayor CCE son el P.N. Villarrica (1367 visitantes), seguido por el P.N. Conguillío (1333 visitantes) y la R.N. Malalcahuello (543 visitantes). En contraste, áreas como la R.N. China Muerta (23 visitantes) y la R.N. Alto Biobío (61 visitantes) presentan CCE muy bajas, coincidente con las limitaciones en la CM de visitantes en esas zonas. En la temporada invernal, se observa una disminución general en la CCE en la mayoría de las áreas protegidas, con el P.N. Villarrica disminuyendo a 592 visitantes y el P.N. Conguillío a 586 visitantes. Sin embargo, el M.N. Cerro Ñielol muestra un aumento

en su CCE invernall (539 a 652 visitantes), lo cual podría indicar una mayor capacidad de recibir visitantes en condiciones invernall en ciertas zonas, explicado principalmente debido a que esta área protegida, al encontrarse emplazada en la depresión intermedia y dentro del radio urbano de la ciudad de Temuco, no se ve expuesta a condiciones climáticas adversas a diferencia de aquellas emplazadas en la cordillera de la costa y la cordillera de los andes, en contraste, durante la temporada estival su CCE se reduce a 539 visitantes debido principalmente a la aplicación de un Fc bio más restrictivo, que posee mayor preponderancia en verano para proteger la biodiversidad sensible de la zona, regulación crucial para minimizar el impacto en períodos de mayor actividad ecológica.

Figura 7
CAPACIDAD DE CARGA EFECTIVA DIARIA SEGÚN TEMPORADA Y ÁREA PROTEGIDA



Fuente: Elaboración propia.

4. DISCUSIÓN

Inicialmente es necesario mencionar que, aunque se incluyen diversos factores a una resolución suficientemente fina para los objetivos del estudio, éstos no pueden capturar toda la complejidad de las interacciones ecológicas y sociales que ocurren dentro de las áreas protegidas y sus senderos. Los valores de capacidad de carga y los Fc dependen de los datos disponibles en el momento del análisis, por lo que, si estos datos no se actualizan regularmente, o no son precisos, los resultados podrían volverse obsoletos o no reflejar adecuadamente las condiciones cambiantes del entorno, pudiendo derivar en la aplicación de acciones ineficaces (Marion, 2016). Una limitación adicional del estudio es la dificultad para extrapolar los resultados a otras áreas protegidas debido a la variabilidad en las condiciones particulares de cada una, como las dinámicas de uso y las políticas de gestión local, que pueden influir significativamente en los resultados, sin embargo, la metodología utilizada y los criterios empleados pueden servir como un modelo de referencia adaptable a otras áreas, permitiendo ajustes según sus características específicas. Aunque habría sido

ideal incluir variables adicionales, como las relacionadas con los cambios en la cobertura del suelo, o bioindicadores clave a una escala detallada, la falta de recursos y la disponibilidad de datos para trabajar a la escala propuesta lo impidieron. No obstante, las variables utilizadas en esta investigación son relevantes y suficientes para abordar los objetivos planteados, asegurando un análisis robusto y válido.

Según los resultados obtenidos, se desprende que la capacidad de carga se encuentra influida principalmente por Fc sociales, de erosión y acceso. Esto destaca la importancia de abordar la gestión de grupos turísticos, mejorar la accesibilidad en los senderos y mitigar los efectos de la erosión a través de infraestructura adecuada y control del uso. Dado que los Fc son dinámicos y están sujetos a cambios ambientales y sociales, es fundamental adoptar un enfoque de manejo adaptativo, ajustando la capacidad de carga en función de las condiciones cambiantes para prevenir el deterioro de los senderos y ecosistemas.

Se evidencian diferencias significativas en la CM entre las áreas protegidas evaluadas. Áreas como R.N. Nalcas, R.N. Alto Bio Bío y R.N. China Muerta requieren una atención particular. Los bajos valores de CM reflejan limitaciones estructurales y de gestión. Estas áreas presentan desafíos significativos relacionados con la falta de infraestructura adecuada, así como una distribución insuficiente de recursos humanos y financieros. Además, la geografía agreste y la dificultad de acceso en algunas áreas, como la R.N. Alto Bio Bío o la R.N. China Muerta, hacen que la implementación de medidas de conservación y manejo sea particularmente complicada.

Ahora bien, al comparar los resultados obtenidos de CCE en este estudio con los de trabajos previos sobre la capacidad de carga en la R.N. Malalcahuello (Muñoz, 2021) y en el sendero Sierra Nevada del P.N. Conguillío (Zúñiga, 2019), se observan valores muy cercanos, lo que valida la metodología utilizada. En el caso de la R.N. Malalcahuello, Muñoz (2021) estimó una capacidad de carga de 487 visitantes, mientras que el presente trabajo proyecta un promedio de 420 visitantes (510 en temporada estival y 329 en temporada invernal). Para el sendero Sierra Nevada, Zúñiga (2019) reporta 84 visitantes, mientras que el presente estudio estima un promedio de 80 visitantes (85 en temporada estival y 74 en temporada invernal). Estas similitudes sugieren que el enfoque indirecto, basado en variables geoespaciales, es una herramienta válida y eficiente para estimar la capacidad de carga. Además, se reconoce que este trabajo puede ser complementado en el futuro mediante la incorporación de variables in situ, siempre que los recursos estén disponibles, lo que permitiría refinar aún más las estimaciones.

Sumado a lo anterior, los datos sugieren que, a nivel de área protegida, la CCE es mayor en la temporada estival, con algunas excepciones como el M.N. Cerro Nielol. Esta variabilidad estacional y espacial en la CCE proporciona una base importante para la gestión diferenciada de la visitación en áreas protegidas.

Para mejorar la CCE será esencial, entre otras acciones, priorizar inversiones en infraestructura resistente a la erosión y desgaste por uso intensivo, como la construcción de senderos elevados o de materiales duraderos. Asimismo, se debe aumentar la dotación de personal especializado en el manejo y conservación de áreas protegidas, así como capacitar al personal existente en técnicas de gestión adaptativa. Una estrategia eficaz sería fomentar la visita a senderos con mayor CCE que cuentan con infraestructura adecuada, esto permitiría redistribuir el flujo de visitantes de manera equilibrada, evitando la

concentración de turistas en áreas más vulnerables. Se podrían desarrollar campañas de promoción turística que resalten las características únicas de estos senderos mientras se implementan restricciones de acceso temporal en senderos frágiles para permitir su recuperación. Aunque en gran parte de las áreas protegidas ya existe un sistema de reservas, este debería ser más detallado, idealmente permitiendo la reserva por sectores específicos dentro de un área protegida. Esta estrategia ayudaría a distribuir la carga de visitantes de manera más equilibrada, evitando la sobrecarga de ciertos senderos o sectores puntuales y asegurando una experiencia de visita más sostenible.

En base a los valores de capacidad de carga obtenidos, y al contrastarlos con las estadísticas de visitación de cada área protegida (SERNATUR, 2024), resulta necesario que se fomente un turismo descentralizado, promoviendo la visita a áreas menos conocidas, distribuyendo así la presión sobre las áreas más concurridas, lo cual no solo preservaría áreas sumamente visitadas, sino que también brindaría oportunidades de desarrollo en otras áreas (e.g. Lara-Pulido *et al.*, 2021). Las áreas con mayor afluencia de visitantes y alta capacidad de carga (e.g. R.N. Malalcahuello, P.N. Conguillío, P.N. Villarrica) deben enfocarse en mantener la infraestructura y los recursos para manejar grandes volúmenes de turistas sin comprometer la sostenibilidad ambiental, distribuyendo de buena manera el flujo de visitantes. Áreas con alta capacidad, pero baja afluencia (e.g. P.N. Tolhuaca, P.N. Nahuelbuta), presentan oportunidades para estrategias de promoción y desarrollo que aprovechen mejor las capacidades existentes. Por último, áreas con baja capacidad y afluencia (e.g. R.N. Nalcas, R.N. China Muerta), requieren mejoras en infraestructura y accesibilidad para aumentar su atractivo y contribuir a una distribución más equitativa de la demanda de visitantes.

Ahora bien, para asegurar que la capacidad de carga se mantenga adecuada y sostenible, se recomienda implementar un sistema de monitoreo estacional que complemente el estudio realizado y permita un seguimiento continuo de los impactos ecológicos. Este sistema debiera incluir el registro de cambios en el ecosistema, como mediciones en la regeneración de la vegetación, el monitoreo de poblaciones de especies indicadoras, además de realizar un conteo regular de los visitantes en senderos de alta afluencia. Este proceso permitirá detectar signos tempranos de estrés ambiental y ajustar las medidas de manejo en consecuencia. Sumado a lo anterior, se sugiere realizar revisiones de la capacidad de carga cada 6 meses o anualmente, especialmente en las áreas con mayor afluencia, y realizar inspecciones periódicas en los senderos para detectar signos de desgaste y otros daños.

En última instancia, es importante mencionar lo imperativo que es actualizar las políticas regulatorias para enfrentar los desafíos del creciente aumento de visitantes en áreas protegidas. Estas políticas deben incorporar sistemas de monitoreo dinámicos que permitan una revisión constante de índices fundamentales en la planificación, como las capacidades de carga (Martins-Brito *et al.*, 2022), asegurando que las decisiones se tomen con base en datos actualizados y reflejen las condiciones reales de los ecosistemas. Chile cuenta con un patrimonio natural de gran valor, por lo que es esencial gestionar sus áreas protegidas de manera que se fomente una visita responsable que, en lugar de agotar los recursos naturales, contribuya a su preservación. En este sentido, adoptar un enfoque de manejo adaptativo resulta fundamental. Esto implica que las políticas deben estar diseñadas para ajustarse tanto a los cambios ecológicos, como los ocasionados por el cambio climático, como a los cambios sociales, como las variaciones en los flujos de visitación.

5. CONCLUSIONES

Las brechas identificadas entre la CM y la CCE son fundamentales para entender las diferencias en la gestión de la visitación en las áreas protegidas. La CM varía significativamente según cada área protegida y presenta una notable diferencia estacional. Por ejemplo, la R.N. Malalcahuello presentan un valor de 67,00% en temporada estival, mientras que el R.N. Nalcas muestra solo un 13,00%. En cuanto a la CCE, se evidencia una diferencia considerable entre las temporadas, alcanzando un máximo de 4870 visitantes en la temporada estival, disminuyendo a 1350 en la temporada invernal. Este patrón se refleja en áreas como el P.N. Conguillío, donde las cifras de visitantes fluctúan significativamente entre las estaciones.

La capacidad de carga turística diaria determinada en las áreas protegidas públicas administradas por la Corporación Nacional Forestal en la Región de la Araucanía será una base esencial para promover un uso equilibrado y sostenible de estos valiosos espacios naturales. El aproximarse a límites claros sobre el número de visitantes no solo conduce hacia la conservación de los ecosistemas, sino que también se previene su degradación debido a la visitación excesiva.

La investigación desarrollada presenta innovaciones en su metodología, considerando la estacionalidad de los flujos de visitación y procesos ecológicos, utilizando factores de corrección de diferente naturaleza y aproximando la capacidad de manejo a realidades de gestión. Aunque fue desarrollada a gran escala, las variables utilizadas contaban con una resolución suficientemente fina y adecuada para proporcionar resultados aplicables. Además, la investigación abarcó numerosas áreas protegidas, lo que permite generar información base relevante para aportar en la creación de un plan o programa de manejo eficiente para la conservación en las áreas evaluadas. Sin embargo, se debe complementar mediante la implementación de sistemas de monitoreo o seguimiento continuos, que permitan actualizar y ajustar las estrategias de manejo en función de los cambios en los ecosistemas y los patrones de visitación.

La integración de los resultados obtenidos en los planes de manejo futuros será esencial para garantizar que tanto las generaciones presentes como las futuras puedan seguir disfrutando de estos valiosos espacios naturales. Además, futuras investigaciones podrían explorar la relación entre los impactos ecológicos a largo plazo y los patrones de visitación, incorporando variables climáticas y de biodiversidad dinámicas y a una escala detallada, con el fin de optimizar las estrategias de manejo y conservación a medida que las condiciones ambientales cambian.

Declaración responsable: El autor declara que no existe ningún conflicto de interés relacionado con la publicación de este artículo.

6. REFERENCIAS

Ajuhari, Z., Aziz, A., Yaakob, S., Abu Bakar, S. y Mariapan, M. (2023). Systematic literature review on methods of assessing carrying capacity in recreation and tourism destinations. *Sustainability*, 15(4), 3474. <https://doi.org/10.3390/su15043474>

- Alfaro-Castillo, D. y Peña-Cortés, F. (2012). Potencial acuícola en áreas preandinas de la Región de La Araucanía: conflictos de uso con la actividad turística. *Revista de Geografía Norte Grande*, 51, 137-157. <http://doi.org/10.4067/S0718-34022012000100008>
- Aranda, F., Medina, D., Castro, L., Ossandón, Á., Ovalle, R., Flores, R. y Bolaño-Ortiz, T. (2023). Snow persistence and snow line elevation trends in a snowmelt driven basin in the central Andes and their correlations with hydroclimatic variables. *Remote Sensing*, 15(23), 5556. <https://doi.org/10.3390/rs15235556>
- Balmford, A., Green, J., Anderson, M., Beresford, J., Huang, C., Naidoo, R., Walpole, M. y Manica, A. (2015). Walk on the wild side: Estimating the global magnitude of visits to protected areas. *PLoS Biology*, 13(2), e1002074. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002074>
- Barra-Rocha, C., Martin-Fontoura, L., Do Vale, W., De Paula Castro, L., Da Silva, A., De Oliveira Prado, T. y Da Silveira, F. (2021). Carrying capacity and impact indicators: analysis and suggestions for sustainable tourism in protected areas–Brazil. *World Leisure Journal*, 63(1), 73-97. <https://doi.org/10.1080/16078055.2021.1888000>
- Barros, A., Monz, C. y Pickering, C. (2015). Is tourism damaging ecosystems in the Andes? Current knowledge and an agenda for future research. *Ambio*, 44(2), 82-98. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0550-7>
- Boisier, J. (2024). CR2MET: A high-resolution precipitation and temperature dataset for the period 1960-2021 in continental Chile (v2.5) [Data set]. *Zenodo*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7529682>
- Campbell-Grant, E., Miller, D. y Muths, E. (2020). A synthesis of evidence of drivers of amphibian declines. *Herpetologica*, 76(2), 101-107. <https://doi.org/10.1655/0018-0831-76.2.101>
- Catenazzi, A. (2015). State of the world's amphibians. *Annual Review of Environment and Resources*, 40, 91-119. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102014-021358>
- Chang, H., Hsieh, C., Yu, C., Lin, Y. y Lin, B. (2023). Ecological Carrying Capacity Estimation of the Trails in a Protected Area: Integrating a Path Analysis Model and the Stakeholders' Evaluation. *Forests*, 14(12), 2400. <https://doi.org/10.3390/f14122400>
- Cifuentes, M., Mesquita, C., Méndez, J., Morales, M., y Aguilar, N. (1999). *Capacidad de carga turística de las áreas de uso público del Monumento Nacional Guayabo, Costa Rica*. WWF Centroamérica. https://awsassets.panda.org/downloads/wwfca_guayabo.pdf
- Clark, R. Y Stankey, G. (1979). *The recreation opportunity spectrum: a framework for planning, management, and research*. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station, 98.
- Corporación Nacional Forestal (CONAF). (2014). *Catastro de los recursos vegetacionales nativos de la región de La Araucanía*. Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. <https://www.sit.conaf.cl>
- Corporación Nacional Forestal (CONAF). (2024). *Nuestros Parques*. Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. <https://www.conaf.cl/parques-nacionales/nuestros-parques/>
- Flores, J., Martínez, E., Espinosa, M., Avendaño, P., Ahumada, I., Torres, P., y Henríquez, G. (2010). *Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile*:

- Región de la Araucanía. Síntesis de resultados* (Pub. CIREN N° 149). Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN).
- Garin, F., & Hussein, Y. (2013). *Guía de reconocimiento de anfibios y reptiles de la Región de Valparaíso*. En A. Espinosa y D. Benavides (Eds.), Servicio Agrícola y Ganadero, Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile.
- Gibbons, J., Scott, D., Ryan, T., Buhlmann, K., Tuberville, T., Metts, B., Greene, J., Mills, T., Leiden, Y., Poppy, S., y Winne, C. (2000). The global decline of reptiles, déjà vu amphibians. *BioScience*, 50(8), 653-666. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2000\)050\[0653:TGDORD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2000)050[0653:TGDORD]2.0.CO;2)
- Global Biodiversity Information Facility (GBIF). (2024). *GBIF occurrence download*. GBIF.org. <https://doi.org/10.15468/dl.tatdvc>
- Graham, R., Nilsen, P., y Payne, R. (1988). Visitor management in Canadian national parks. *Tourism Management*, 9(1), 44-61.
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Rozum, I., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Dee, D., y Thépaut, J.-N. (2023). *ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present*. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). <https://doi.org/10.24381/cds.adbb2d47>
- Ibañez-Pérez, R. (2016). Capacidad de carga turística como base para el manejo sustentable de actividades ecoturísticas en Unidades de Manejo Ambiental (UMA) de Baja California Sur (BCS). *El Periplo Sustentable*, 30, 37-76.
- Infraestructura de Datos Geoespaciales (IDE). (2023). *Modelo digital de elevación ALOS PALSAR Región de La Araucanía*. Ministerio de Bienes Nacionales, Gobierno de Chile.
- Jangra, R., y Kaushik, S. (2021). Estimating carrying capacity in a high mountainous tourist area: A destination conservation strategy. En R. Singh, D. Wei, y S. Anand (Eds.). *Global geographical heritage, geoparks and geotourism. Advances in Geographical and Environmental Sciences*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4956-4_22
- Kuss, F., Graefe, A., y Vaske, J. (1990). *Visitor impact management*. National Parks and Conservation Association.
- Lara-Pulido, J., Guevara-Sanginés, A., Pérez-Cirera, V., Arias-Martelo, C., y Jiménez-Quiroga, C. (2021). Economic spillover from natural protected areas to conventional tourist destinations. *Economía, Sociedad y Territorio*, 21(67), 745-774. <http://dx.doi.org/10.22136/est20211690>
- Leung, Y., Spenceley, A., Hvenegaard, G., y Buckley, R. (2019). *Gestión del turismo y de los visitantes en áreas protegidas: Directrices para la sostenibilidad* (Serie Directrices sobre Buenas Prácticas en Áreas Protegidas N° 27). UICN. <https://portals.iucn.org/library>
- Luedtke, J., Chanson, J., Neam, K., Hobin, L., Maciel, A., Catenazzi, A., ... y Stuart, S. (2023). Ongoing declines for the world's amphibians in the face of emerging threats. *Nature*, 622(7982), 308-314. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06578-4>
- Manidis Roberts Consultants. (1997). *Developing a tourism optimisation management model (TOMM): A model to monitor and manage tourism on Kangaroo Island* [Final report]. South Australian Tourism Commission. (Unpublished).

- Marion, J. (2016). A review and synthesis of recreation ecology research supporting carrying capacity and visitor use management decisionmaking. *Journal of Forestry*, 114(3), 339-351. <http://dx.doi.org/10.5849/jof.15-062>
- Martins-Brito, R., Salinas Chávez, E., y Mirandola-Garcia, P. (2022). La geoecología de los paisajes como fundamento para la selección, planificación y gestión de áreas protegidas: Aspectos teórico-metodológicos. *Revista de Geografía Norte Grande*, 83, 305-329. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022022000300305>
- Matos, L., Velásquez, J., de Miranda, R., y Nabout, J. (2023). Assessing tourism carrying capacity in one sustainable protected area of Cerrado: Balancing ecological and socio-economic dimensions. *Fronteira: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, 12(3), 194-212.
- Matos-Márquez, L., y Pérez-Colmenares, S. (2019). Revisión sobre capacidad de carga turística y la prevención de problemas ambientales en destinos emergentes. *Turismo y Sociedad*, 24, 77-100. <https://doi.org/10.18601/01207555.n24.04>
- Ministerio de Medio Ambiente (MMA). (2024). *Listado de especies clasificadas desde el 1º al 19º proceso de clasificación RCE*. <https://www.clasificacionespecies.mma.gob.cl>
- Muñoz, F. (2021). *Capacidad de carga turística en áreas protegidas, caso de estudio: Reserva Nacional Malalcahuello* (Tesis de Ingeniería Ambiental). Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.
- Newsome, D. (2021). The collapse of tourism and its impact on wildlife tourism destinations. *Journal of Tourism Futures*, 7(3), 295-302. <https://doi.org/10.1108/JTF-04-2020-0053>
- Pincheira-Ulbrich, J., Vallejos, B., Huincaguelo, J., Zambrano, U., y Peña-Cortés, F. (2021). A 30-year update of the climbers and vascular epiphytes inventory of the Cerro Ñielol Natural Monument (La Araucanía, Chile): A database. *Biodiversity Data Journal*, 9. <https://doi.org/10.3897/BDJ.9.e72521>
- Ponce, E., Taipe, R., Ramírez, C., Ponce, N., y Cahue, J. (2021). Cálculo de acogida turística con metodología multicriterio en la gruta de Huagapo: Análisis en pandemia. *Investigación Valdizana*, 15(3), 171-183.
- QGIS Development Team. (2024). *QGIS geographic information system*. Open Source Geospatial Foundation Project.
- R Core Team. (2024). *R: A language and environment for statistical computing*.
- Rivas-Ortega, H., Grande-Villa, F., Cooper-Carrasco, C., Hidalgo del Canto, M., Astudillo-Riveros, B., y Cervantes-Ponce, D. (2021). Efectos del coronavirus en el sector turismo en Chile. *Turismo y Sociedad*, 29, 157-181. <https://doi.org/10.18601/01207555.n29.07>
- Roa, J., y Kamp, U. (2012). Uso del índice topográfico de humedad (ITH) para el diagnóstico de la amenaza por desborde fluvial, Trujillo-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 53(1), 109-126.
- Saaty, T. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9-26.
- Salazar, D., Suntasig, L., Calvopiña, C., y Núñez, J. (2023). Determinación de la capacidad de carga turística del sendero cascada el Rocío, Guasaganda. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(5), 168-189. <https://doi.org/10.56712/latam.v4i5.1310>

- Sayan, M., y Atik, M. (2011). Recreation carrying capacity estimates for protected areas: A study of Termessos National Park. *Ekoloji*, 20(78), 66-74. <https://doi.org/10.5053/ekoloji.2011.7811>
- Servicio Nacional de Turismo (SERNATUR). (2024). *Base de datos de estadísticas de visitación SNASPE*. Sistema de Información Estadística Turística (SIET), División de Estudios y Territorio. <https://datosturismo.sernatur.cl>
- Smith-Ramírez, C. (2004). The Chilean coastal range: A vanishing center of biodiversity and endemism in South American temperate rainforests. *Biodiversity and Conservation*, 13, 373-393. <https://doi.org/10.1023/B:BIOC.0000006505.67560.9f>
- Soria-Díaz, H., Graça, P., y Soria-Solano, B. (2022). Analysis of the carrying capacity of tourist attraction sites in central Amazonia, Brazil. *Investigaciones Geográficas*, 108. <https://doi.org/10.14350/rig.60531>
- Soto, E., Sallaberry, M., Núñez, J., y Méndez, M. (2008). Desarrollo larvario y estrategias reproductivas en anfibios. En *Herpetología de Chile* (pp. 333-357).
- Stankey, G., Cole, D., Lucas, R., Petersen, M., y Frissell, S. (1985). *The Limits of Acceptable Change (LAC) system for wilderness planning* (General Technical Report INT-176). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station.
- Tomczyk, A., y Ewertowski, M. (2013). Planning of recreational trails in protected areas: Application of regression tree analysis and geographic information systems. *Applied Geography*, 40, 129-139. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.02.004>
- U.S. Department of the Interior. (1997). *The Visitor Experience and Resource Protection (VERP) framework: A handbook for planners and managers*. National Park Service, Service Center.
- UNEP-WCMC & IUCN. (2024). *Protected planet: The World Database on Protected Areas (WPA), August 2024*. Cambridge, UK: UNEP-WCMC and IUCN. <https://www.protectedplanet.net>
- Díaz-Valdez, D., Jácome-Enríquez, W., Gómez-Navarro, T., y Toulkeridis, T. (2024). Ecotourism carrying capacity of the Cotopaxi National Park, Central Ecuador. *Revista Geográfica Venezolana*, 65(1), 100-121.
- Vidal, M., y Labra, A. (2008). *Herpetología de Chile*. Science Verlag. Santiago, Chile.
- Zúñiga, J. (2019). Determinación de capacidad de carga turística en el sendero Sierra Nevada, Parque Nacional Conguillío. Tesis de Ingeniería en Recursos Naturales, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile, 84 pp.