



ESCENARIOS
HÍDRICOS
2030
CHILE

Análisis del estado actual de los ecosistemas terrestres, asociados a dos cuencas en Chile central: Maipo y Maule

Estudio realizado para
Escenarios Hídricos 2030
por Patricio Pliscoff, Profesor
Universidad Católica de Chile,
año 2020

Índice

Resumen ejecutivo	3
Executive summary	4
1.-Introducción	5
2.-Metodología	5
2.1.-Análisis de la pérdida y fragmentación de los ecosistemas	5
2.2.- Análisis de cambio de uso de suelo	8
2.2.- Análisis de ecosistemas específicos	8
2.3.-Definición de áreas de valor ecológico	9
3.-Resultados	10
3.1.-Cuenca del río Maipo	10
3.1.1-Cambios por ecosistema	11
3.1.2.-Cambios de uso de suelo	15
3.1.3.-Fragmentación por ecosistema	21
3.2.-Cuenca del río Maule	23
3.2.1-Cambios por ecosistema	24
3.2.2.-Cambios de uso de suelo	27
3.2.3.-Fragmentación por ecosistema	32
3.3.-Análisis de ecosistemas específicos	35
3.4.-Áreas de mayor valor ecológico	37
4.-Identificación de brechas de información	39
5.-Recomendaciones	40
6.-Conclusiones	41
7.-Bibliografía	43
8.-Anexo	44

Resumen ejecutivo

En el marco del proyecto Escenarios Hídricos 2030 (EH2030), se realizó un análisis del estado actual de los ecosistemas en dos cuencas presentes en Chile central: Maipo y Maule. La propuesta metodológica incluye un análisis del cambio temporal de 20 años entre dos fechas (1995-2016), a partir de los resultados de cobertura actual de uso de suelo generados por el proyecto Catastro de los recursos vegetacionales nativos, llevado a cabo por la Corporación Nacional Forestal. El análisis de cambio de uso de suelo mencionado se evaluará con la distribución de los ecosistemas terrestres, tomando como definición de ecosistema, las formaciones de vegetación. Además, se analizan los cambios en el tiempo para las dos fechas analizadas, evaluando la fragmentación de la vegetación natural y finalmente se propone la identificación de una señalización territorial que informa de las áreas prioritarias para la protección en las cuencas analizadas. Los resultados señalan que los mayores cambios (pérdida de vegetación natural) se dan en los ecosistemas ubicados en las zonas bajas (costeras) de las cuencas, con ecosistemas que han perdido más del 20% (Bosque Espinoso costero en la cuenca del río Maipo) y 30% (Bosque Caducifolio costero en la cuenca del río Maule) de su superficie remanente en la cuenca en los últimos 20 años. Siendo el mayor motor de cambio la expansión urbana en la cuenca del Maipo (que se ha expandido sobre suelo agrícola en más de un 15% en 10 comunas urbanas y periurbanas) y las plantaciones forestales en la cuenca del Maule (con una expansión superior al 20% en 7 comunas del sector costero de la cuenca). La vegetación boscosa ripariana ha disminuido en sectores medios de ambas cuencas debido a la expansión agrícola (más de 2.000 hectáreas en el Matorral Esclerofilo en la cuenca del río Maipo y más de 3.000 hectáreas en el Bosque Espinoso interior de la cuenca del río Maule) y los bosques nativos ubicados en zonas de cabeceras de cuencas en sufrido un deterioro en su estructura especialmente en cuenca del Maipo (más de 2.500 hectáreas de pérdida en pendientes sobre el 30% en el Bosque Esclerofilo de la precordillera andina en la cuenca del río Maipo). Las zonas de mayor valor ecológico corresponden a los ecosistemas que han perdido mayor superficie y que poseen una categoría de amenaza mayor a nivel nacional, siendo los Bosques esclerófilos en la cuenca del Maipo y el Bosque Caducifolio costero en la cuenca del Maule, las áreas que concentran el valor ecológico. Estas áreas se deberían convertir en prioridades de restauración, ya que la recuperación de su cobertura permitiría desacelerar los procesos de pérdida y fragmentación, y en el caso de los fragmentos remanentes de vegetación boscosa ripariana y de cabecera de cuenca, su protección debería ser tomada como máxima prioridad para mantener los procesos ecosistémicos en las cuencas de los ríos Maipo y Maule.

Executive summary

Within the framework of the Water Scenarios 2030 project (EH2030), an analysis of the current state of the ecosystems in two basins present in central Chile; Maipo and Maule, was carried out. The methodological proposal includes an analysis of temporal change over 20 years, between two dates (1995-2016), based on the results of current land use coverage generated by the project Cadastral of native vegetation resources carried out by the National Forestry Corporation (CONAF). The analysis of land use change will be evaluated with the distribution of terrestrial ecosystems, taking vegetation formations as surrogate of ecosystems. In addition, the changes over time for the two time periods were analyzed, evaluating the fragmentation of natural vegetation, and finally used to identify and propose priority areas for protection in the two basins analyzed. The results shows that mayor changes (natural vegetation loss) occur in the ecosystems located in the lower (coastal) areas of the basins, with ecosystems that have lost more than 20% (coastal thorn forest in the Maipo river basin) and 30% (coastal deciduous forest in the Maule river basin) of their remaining surface area in the basin over the last 20 years. The main driver of change is urban expansion in the Maipo river basin (which has expanded over 15% on agricultural land in 10 urban and peri-urban counties) and forest plantations in the Maule river basin (with an expansion of more than 20% in 7 counties of the coastal sector of the basin). Riparian forest vegetation has decreased in the middle sectors of both basins due to agricultural expansion (more than 2000 hectares in the Sclerophyllous shrubland in the Maipo river Basin and more than 3000 hectares in the Interior Thorny Forest of the Maule river Basin) and the native forests located in areas of headwaters that have suffered a deterioration in their structure, especially in the Maipo river Basin (more than 2500 hectares of loss on slopes of more than 30% in the Sclerophyll Forest of the Andean foothills). The areas of highest ecological value correspond to the ecosystems that have lost the most area and that have a higher threat category at the national level, being the areas that concentrate higher ecological value the Sclerophyll Forests in the Maipo river basin and the Coastal Deciduous Forest in the Maule river basin. These areas should become restoration priorities, since the recovery of their cover would allow a slowing down of the process of loss and fragmentation, and in the case of the remaining fragments of riparian and headwater forest vegetation, their protection should be taken as a top priority to maintain the ecosystem processes in the Maipo and Maule river basins.

1.-Introducción

Los principales procesos que determinan el estado actual de los ecosistemas son la pérdida y fragmentación de los hábitats naturales, estos procesos están definiendo la contribución de la naturaleza a las personas, que incluye a todos los beneficios que el ser humano obtiene del sistema natural (Díaz *et al.*, 2019). Este análisis estará enfocado en caracterizar dos procesos fundamentales para caracterizar el estado de salud de los ecosistemas; la *pérdida* y la *fragmentación* del hábitat de los ecosistemas terrestres, ambos procesos producto del cambio de uso de suelo. Para evaluar la pérdida se utilizarán dos criterios de evaluación definidos en el marco conceptual y metodológico de la Lista roja de Ecosistemas de la Unión Internacional de la Naturaleza. Estos criterios permiten evaluar por cada ecosistema, los patrones espaciales y temporales de la pérdida de superficie en los ecosistemas terrestres. Finalmente, la fragmentación se estimará por ecosistema siguiendo las mismas ventanas temporales del cálculo de pérdida, utilizando métricas de ecología del paisaje. Todos los análisis anteriores se estimarán por ecosistemas y enfocándose en dos zonas de las cuencas en estudios: los ecosistemas boscosos riparianos y los presentes en las cabeceras de las cuencas, por su valor esencial en la regulación del sistema hídrico.

La presencia de la vegetación ripariana produce una serie de impactos positivos en los cursos de agua, los que incluyen: procesar mayor cantidad de materia orgánica y capturar más nitrógeno, mejorar la cantidad y calidad del agua, facilitar el procesamiento de contaminantes y regular la temperatura y luz. Al mantenerse las condiciones naturales de la vegetación ripariana se dispone de un mayor número de hábitats y microhábitats para las especies acuáticas y semiacuáticas presentes en los cursos de los ríos. Además, por su estructura lineal actúan como corredores biológicos tanto estructurales (conectando fragmentos de vegetación nativa) como funcionales (áreas disponibles para el movimiento de especies). En el caso de la vegetación de cabecera de cuenca, cumple un rol esencial en la mantención de la cobertura orgánica del suelo, especialmente a mayores pendientes. Lo que permite un control natural del grado de sedimentación y materia orgánica presentes en los cursos de agua.

A continuación, se detallan aspectos metodológicos de los cálculos de pérdida y fragmentación de los ecosistemas terrestres en las cuencas del Maipo y del Maule.

2.-Metodología

2.1.-Análisis de pérdida y fragmentación de los ecosistemas

Para el cálculo de la pérdida de hábitat, se aplicarán métricas de pérdida de hábitat en dos ventanas temporales, pérdida histórica y pérdida reciente, este cálculo se realizará utilizando como descriptor de ecosistemas las formaciones vegetacionales propuestas por Luebert & Plischoff 2017, este nivel corresponde al superior en la estructura jerárquica de esta clasificación y se basa en la fisonomía (estructura) de la vegetación dominante (ej. Bosque Esclerófilo, Bosque Espinoso, Matorral, etc.), así los resultados se pueden explicar en forma más general que al utilizar una unidad con mayor detalle espacial (ej. Pisos de vegetación), los cuales se definen además por aspectos climáticos y florísticos. Se aplicaron dos cálculos a partir de los criterios de evaluación definidos por la Lista roja de Ecosistemas. Estos cálculos corresponden al criterio asociado a la disminución de la distribución de los ecosistemas (Plischoff, 2015; Bland *et al.*, 2016).

El primer cálculo estima la pérdida histórica, basada en la diferencia entre un periodo histórico y un periodo actual. En este caso, el periodo histórico está definido por la distribución potencial del ecosistema (obtenidas de Luebert & Plischoff, 2017) y el periodo actual a la versión más actualizada de la cobertura vegetal, obtenida del Catastro de los recursos vegetacionales nativos de CONAF (1995; 1999). El segundo cálculo corresponde a la pérdida reciente que, en la metodología de Lista Roja de Ecosistemas, corresponde a cualquier periodo de 50 años que involucre un tiempo pasado al actual y uno futuro. Para este análisis, se tomará como primera etapa del periodo la primera versión del Catastro CONAF correspondiente al año 1995, (entregado el año 1997) y a la versión más actualizada que corresponde al monitoreo de cambios entre los años 2013 al 2016 (CONAF 2017), esto entrega una ventana de tiempo de 21 años, para analizar la pérdida y fragmentación de las cuencas en estudio (Figura 2). Para el caso de la fragmentación, a partir de los resultados de la pérdida de hábitat, se caracteriza cada ecosistema en el periodo de pérdida reciente con un conjunto de métricas de paisaje (Tamaño promedio, densidad, densidad de borde, etc.) calculadas con el software Fragstats (McGarigal, *et al.*, 2002) Además de estas métricas se calculará un índice de conectividad equivalente (Saura y Torné, 2009), mediante el software CONEFOR que permite tener una cuantificación integral del estado de fragmentación del ecosistema el cual puede ser comparado por ecosistema para los dos periodos de cambio reciente (1995 a 2016).

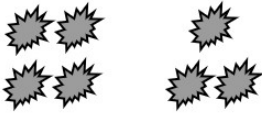
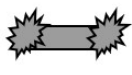
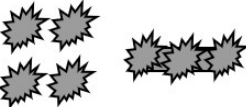
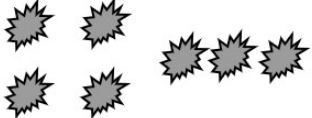
	1.Tamaño	2.Efecto borde	3.Fragmentación	4.Conectividad	5. Forma
Mejor					
Peor					
	Tamaños grandes son mejores	Parches con menos bordes son mejores que aquellos con más	Fragmentos agrupados son mejores que aquellos fragmentados y aislados	Fragmentos conectados son mejores que aquellos desconectados	Formas con mayor relación perímetro-área son mejores que aquellas lineales

Figura 1. Esquema efectos fragmentación del paisaje, se comparan las mejores situaciones para los ecosistemas (arriba) versus las condiciones que implican efectos negativos (abajo). (1) Un ecosistema de mayor tamaño puede garantizar mayor disponibilidad de espacios para que las especies se mantengan (disponibilidad de nicho). (2) Un ecosistema no fragmentado posee menos bordes (perímetro lineal del fragmento) y por lo tanto menos barreras para el movimiento de las especies. (3) Un ecosistema con fragmentos menos aislados y (4) conectados, permite mayor intercambio entre las especies. Modificado de Diamond 1975.

Un punto relevante por señalar en la comparación de las coberturas de uso de suelo del Catastro de CONAF para los periodos de 1995 y 2016, es que existen dos diferencias metodológicas relevantes. La primera se refiere a la unidad mínima de análisis, en el caso de la versión original de 1995 (CONAF 1999), la unidad mínima de análisis corresponde a un polígono de 6,25 hectáreas y en la versión actualizada (CONAF, 2017), la unidad mínima es de 0,27 hectáreas. La segunda diferencia, se da en la definición para la categoría de Bosque, ya que en la versión actualizada del catastro CONAF se disminuyeron los porcentajes de cobertura arbórea respecto a la versión original, lo que implica que categorías de cobertura que estaban definidas dentro de la categoría de Matorral, pasaron a Bosque, por lo que aumentó sustancialmente las áreas de Bosque Nativo en varias zonas del país, especialmente en Chile central. Para poder homogeneizar el análisis, se cambiaron las categorías de Matorral arborescente del catastro original a Bosque, lo que permite definir en una forma similar esta cobertura para los dos periodos.

Adicionalmente, se utilizó una validación independiente para la distribución de Bosque nativo, esta fue la cobertura de uso de suelo obtenida con el satélite Sentinel-2 a escala global con una resolución de 100 metros (Buchhorn *et al.*, 2020); esta clasificación fue utilizada para corroborar la distribución de Bosque nativo en las dos fechas, especialmente en el límite arbóreo andino, donde se identifican más diferencias entre los dos periodos del Catastro.

2.2.-Análisis de cambio de uso de suelo

Utilizando las dos fechas del Catastro de los recursos vegetacionales nativos de CONAF (1995 y 2016) se realizó un análisis de cambios para las tres coberturas de uso de suelo de origen antrópico: Agricultura, Plantaciones Forestas y Urbano/Industrial. Para cada una de estas coberturas, se calculó el área de **estabilidad**: mantención de la cobertura en los dos periodos de tiempo, la **expansión**: presencia de la cobertura solamente en la fecha más reciente (año 2016) y **cambio**: reemplazo de la cobertura que estaba en el primer periodo (año 1995) por otro tipo de cobertura en el segundo periodo (año 2016). Se realizaron los cálculos a nivel comunal para las dos cuencas de estudio, calculando la superficie en hectáreas por comuna para la estabilidad, expansión y cambio. Además, se realizó el cálculo porcentual, respecto al área total de la comuna dentro de la cuenca.

2.3.-Análisis de ecosistemas específicos

Además del análisis por ecosistemas, se realizó un análisis específico para dos tipos de vegetación, la vegetación boscosa ripariana (presente en los bordes de los ríos) y los bosques presentes en las cabeceras de cuencas. Para la definición de la vegetación boscosa ripariana se definió un área buffer de 200 metros para todos los tipos de drenes que cumplan las características de río o estero. Para esto se utilizó la cobertura de red hidrográfica de Chile, disponible en la mapoteca online del Congreso Nacional (https://www.bcn.cl/siit/mapas_vectoriales). La distancia de 200 metros de buffer para la definición de la vegetación boscosa ripariana se definió a partir de la ley 20.283 del año 2008, sobre recuperación del bosque nativo y fomento forestal (Romero *et al.*, 2014), la que define esta distancia para la protección de superficies boscosas sobre los 45% de pendiente. Se amplió esta definición también a los bosques presentes en áreas sobre los 30% de pendiente, ya que además de la definición anterior, sobre esta definición de pendiente se presentan distintas restricciones para la corta y explotación de bosques (Pellet *et al.*, 2005). A partir de estas definiciones, se estableció el área de análisis para los bosques presentes en las cabeceras de las cuencas, cubriendo todas las áreas con superficie de vegetación de Bosque sobre los 30% de pendiente. Así como al área de vegetación boscosa ripariana a las superficies cubiertas de vegetación boscosa dentro del buffer de 200 metros en todos los ríos y esteros de las cuencas analizadas,

diferenciando entre vegetación boscosa y vegetación andina ripariana, para dar cuenta de los fragmentos de vegetación ripariana en la zona andina que podrían quedar fuera de la clasificación de bosque, por la metodología del Catastro, especialmente en la primera versión correspondiente al primer periodo de tiempo analizado. La pendiente se calculó a partir de un modelo de elevación de 100 metros (Figura 4), la que fue reclasificada en tres categorías (0-30%, 30-45% y sobre 45%). Las áreas reclasificadas por cuenca, que definen el área de análisis de los bosques de cabecera de cuenca, junto a las áreas de buffer de 200 metros, que definen el análisis de vegetación boscosa ripariana, son presentadas en la Figura 5.

2.3.-Definición de áreas de valor ecológico

A partir de los resultados de pérdida y fragmentación en las cuencas analizadas, así como de los ecosistemas específicos (vegetación boscosa ripariana y bosques en cabeceras de cuencas), se identificaron las áreas de mayor valor ecológico señalizando territorialmente las zonas recomendadas para conservación, rehabilitación y/o restauración ecosistémica, para avanzar en la adaptación del Cambio Climático y la restauración del ciclo hidrológico. Para ello, se combinaron cinco criterios que den cuenta del valor de la diversidad biológica en las cuencas de estudios, a nivel de ecosistemas (riesgo, protección, diversidad) y de especies (riqueza de flora y fauna). Estos criterios se complementaron con la presencia de los ecosistemas específicos analizados. A continuación, se detalla cada uno de los criterios utilizados en la definición de las áreas de valor ecológico.

1. **Riesgo por ecosistema:** La categorización de riesgo de ecosistemas amenazados definidos en la lista roja de ecosistemas de Chile (Pliscoff *et al.*, 2015), que se encuentra a nivel de pisos de vegetación (unidad inferior luego de la formación de vegetación en la jerarquía de la clasificación de Luebert & Pliscoff, 2017). La metodología de la lista roja de ecosistemas utiliza criterios de pérdida de ecosistemas, tamaño y perturbación biótica o abiótica de los ecosistemas.
2. **Protección:** Se categorizaron los pisos de vegetación presentes en cada cuenca, a partir del análisis de representatividad ecosistémica (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011) más actualizado para Chile (Luebert & Pliscoff, 2017).
3. **Diversidad de ecosistemas azonales:** A partir de la propuesta de clasificación de pisos de vegetación de Chile, se realizó un conteo de los ecosistemas azonales (ecosistemas que están definidos por elementos distintos al clima zonal, ej. suelos, relieve) presentes en cada piso de vegetación.

4. **Diversidad de flora:** Número total de especies de flora colectadas dentro de un piso de vegetación, a partir de la base de datos del sistema global de información de biodiversidad, GBIF (www.gbif.org).
5. **Diversidad de fauna:** Número total de especies de fauna colectadas dentro de un piso de vegetación, a partir de la base de datos del sistema global de información de biodiversidad, GBIF (www.gbif.org).

Estos cinco elementos se estandarizaron y clasificaron en 4 categorías (1=bajo, 2=medio, 3=alto y 4=muy alto) (Figura 5 y 6). El valor ecológico final por cuenca se obtuvo sumando estos cinco criterios más la distribución de vegetación ripariana y de bosques de cabecera de cuenca. A estos últimos dos elementos se les asignó el valor más alto (4) para la suma final.

3.-Resultados

3.1.-Cuenca del río Maipo

En la cuenca del río Maipo se identifican ocho ecosistemas definidos a partir de la vegetación dominante (Figura 2). El **Bosque Espinoso costero y Bosque Espinoso interior**, formaciones dominadas por la especie arbórea *Acacia caven* (Espino). El Bosque Espinoso interior presenta, además del Espino, otras especies arbóreas nativas como el Algarrobo (*Prosopis chilensis*), en el caso del Bosque Espinoso costero, se identifica el Maitén (*Maytenus boaria*) como especie codominante junto al Espino. El Bosque Espinoso interior tiene una superficie actual de 56.715 hectáreas y se distribuye en las comunas presentes en la depresión intermedia de la región metropolitana, especialmente en la zona norte (comunas de Colina, Tiltil y Lampa) y en la zona sur entre la cordillera de la costa y la precordillera andina (comunas de Paine y Mostazal). El Bosque Espinoso costero se distribuye en la comuna de San Pedro en la región metropolitana y en San Antonio en la región de Valparaíso, con una superficie de 13.348 hectáreas. El **Bosque Esclerófilo**, corresponde a la vegetación más dominante en la cuenca del río Maipo, distribuyéndose tanto en la cordillera de la costa como en la precordillera andina, se caracteriza por la presencia de un conjunto de especies arbóreas nativas y endémicas a Chile como el Quillay (*Quillaja saponaria*), Peumo (*Cryptocarya alba*), Litre (*Lithraea caustica*), entre otras. Las comunas con mayor presencia del Bosque Esclerófilo son las ubicadas en la Cordillera de la costa, Melipilla, Curacaví, Isla de Maipo, tiene una superficie de 230.753 hectáreas. En la precordillera andina sobre el Bosque Esclerófilo, es posible identificar un **Bosque Esclerófilo andino**, el que se diferencia del anterior, por la presencia de especies adaptadas a condiciones de mayor altitud, como el Frangel (*Kageneckia angustifolia*) y el Ciprés

de la Cordillera (*Austrocedrus chilensis*), este ecosistema marca el límite de la vegetación arbórea en la cuenca. Se distribuye en todas las comunas presentes en la precordillera andina, especialmente en Lo Barnechea y San José de Maipo, posee una superficie de 67.704 hectáreas. En la cordillera de la costa, se presenta un **Bosque Caducifolio** el cual se identifica por la especie Roble de Santiago (*Nothofagus macrocarpa*), esta forma bosques solo en zonas muy específicas y corresponde a la extensión norte de los Bosques Caducifolios en Chile. Se distribuye en las zonas de mayor altitud de las comunas de Tiltill, Lampa, Curacaví y Alhué, tiene una superficie de 21.118 hectáreas. Además de la vegetación boscosa, se presenta un **Matorral Esclerófilo** con condiciones similares al Bosque Esclerófilo, pero con una mayor degradación producto del contacto con los usos de suelo antrópico. Ubicada en todas las comunas que comparten zonas montañosas de la cordillera de la costa en contacto con la depresión intermedia. Por ejemplo, la comuna de Melipilla y de Curacaví, tiene una superficie de 139.708 hectáreas. Sobre el límite arbóreo se encuentra el **Matorral** y el **Herbazal andino**, los que marcan el límite de la vegetación en la cuenca y están dominados por arbustos y hierbas respectivamente. El Matorral se distribuye en la cordillera de Los Andes (comunas de Lo Barnechea, Pirque y San José de Maipo) y en algunas comunas de la cordillera de la costa (Lampa, Curacaví y Alhué), tiene una superficie de 125.392 hectáreas. El Herbazal andino, se distribuye en las comunas de Lo Barnechea y San José de Maipo, con una superficie de 193.856 hectáreas.

3.1.1.-Cambios por ecosistema

Los resultados del cambio por ecosistema para los dos periodos analizados (periodo histórico 1995- periodo más reciente 2016), son presentados en la Tabla 1 y 2, respectivamente. Los ecosistemas que más áreas han perdido en términos históricos son los correspondientes al Bosque Espinoso tanto en su variante interior con casi un 80% de pérdida, como en el costero (Figura 2). El resto de los ecosistemas también ha tenido un proceso de pérdida de su distribución histórica superior al 50% en el caso del Bosque Caducifolio y el Bosque Esclerófilo andino. Los que menos pérdida presentan son el Bosque Esclerófilo y el Matorral andino. En el caso del Herbazal andino y Matorral Esclerófilo, las superficies actuales son superiores a la distribución histórica, debido a que en el catastro se pueden identificar áreas que corresponden a estos ecosistemas fuera de su distribución original.

Tabla 1. Pérdida histórica por ecosistema en la cuenca del río Maipo.

	Superficie Formación (Hectáreas)		Diferencia	% Pérdida
	Histórico	2016		
Bosque Caducifolio	43685	21119	-22566	51.66
Bosque Esclerófilo	360819	230753	-130066	36.05
Bosque Esclerófilo andino	140491	67705	-72786	51.81
Bosque Espinoso costero	47277	13349	-33928	71.77
Bosque Espinoso interior	280806	56716	-224090	79.80
Herbazal andino	69859	193857	123998	
Matorral andino	184615	125392	-59223	32.08
Matorral Esclerófilo	125681	139708	14027	

Al observar la pérdida reciente, todos los ecosistemas muestran porcentajes de pérdida con excepción del Bosque Esclerófilo, que muestra una diferencia negativa. Esto se relaciona al cambio de definición de Bosque que, como se mencionó en la metodología, áreas que por su grado de cobertura arbórea eran consideradas anteriormente como matorral pasaron a ser Bosque Esclerófilo. Destaca la pérdida superior al 20% del área existente al año 95 del Bosque Espinoso costero, la que se explica por la expansión de las plantaciones forestales de Eucaliptos. Lo mismo ocurre con el Bosque Espinoso interior, que ha disminuido más superficie producto de la expansión urbana (Figura 3).

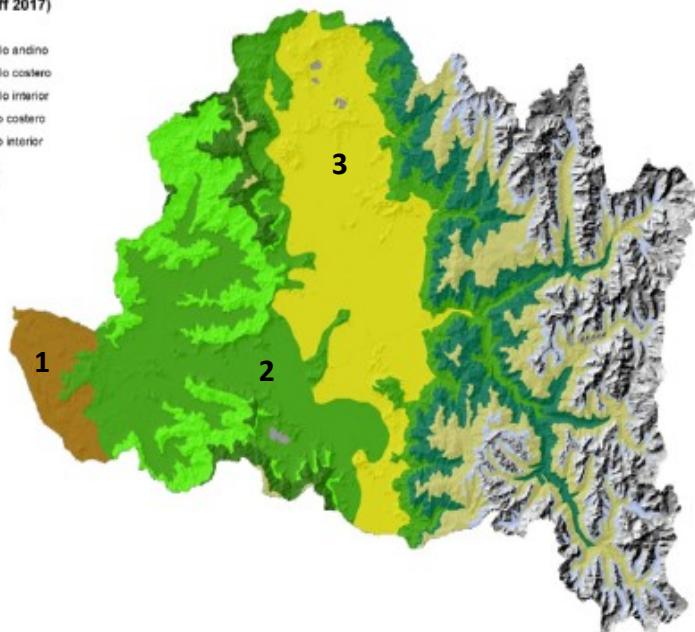
Tabla 2. Pérdida reciente por ecosistema cuenca del río Maipo.

	Superficie Formación (Hectáreas)		Diferencia	% Pérdida
	1995	2016		
Bosque Caducifolio	21885	21119	-766	3.50
Bosque Esclerófilo	220765	230753	9988	
Bosque Esclerófilo andino	70272	67705	-2567	3.65
Bosque Espinoso costero	16743	13349	-3394	20.27
Bosque Espinoso interior	68078	56716	-11362	16.69
Herbazal andino	209066	193857	-15209	7.27
Matorral andino	130644	125392	-5252	4.02
Matorral Esclerófilo	160727	139708	-21019	13.08

Formación vegetalacional Maipo
(Luebert & Pliscoff 2017)

Formación

- Bosque esclerófilo andino
- Bosque esclerófilo costero
- Bosque esclerófilo interior
- Bosque espinoso costero
- Bosque espinoso interior
- Herbazal andino
- Matorral andino
- Matorral costero
- Sin vegetación



Ecosistemas

Maipo 2016

Categoría

- Agricultura
- Bosque Espinoso costero
- Bosque Espinoso interior
- Bosque caducifolio
- Bosque esclerófilo
- Bosque esclerófilo andino
- Cuerpos de agua
- Herbazal andino
- Matorral andino
- Matorral esclerófilo
- Plantaciones forestales
- Sin vegetación
- Urbano

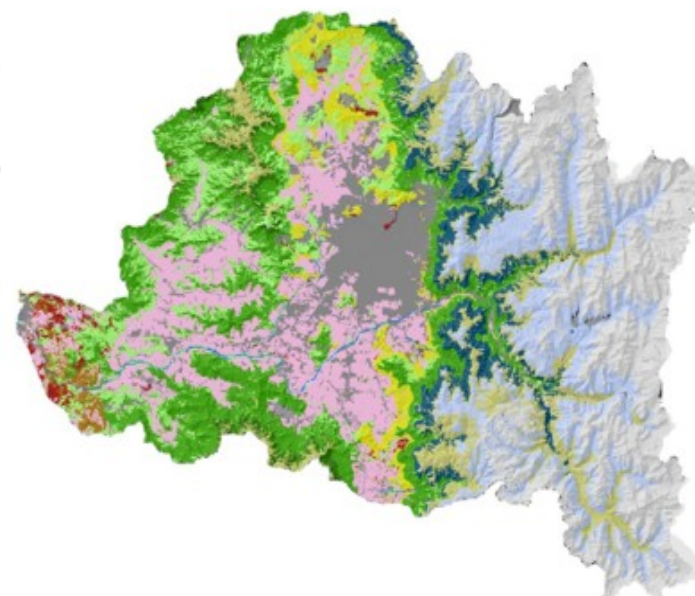


Figura 2. Comparación entre la distribución histórica potencial de los ecosistemas presentes en la cuenca del río Maipo y su distribución actual. En la figura de la izquierda se presenta la distribución potencial, en la derecha la distribución de los ecosistemas, junto a los usos de suelo antrópicos (agricultura, plantaciones forestales y urbano), para el último periodo de análisis (año 2016). Los ecosistemas que han perdido más superficie son: 1.- El Bosque Espinoso costero (color café), 2.- El Bosque Espinoso interior (color amarillo) y 3.-El Bosque Esclerófilo (color verde).

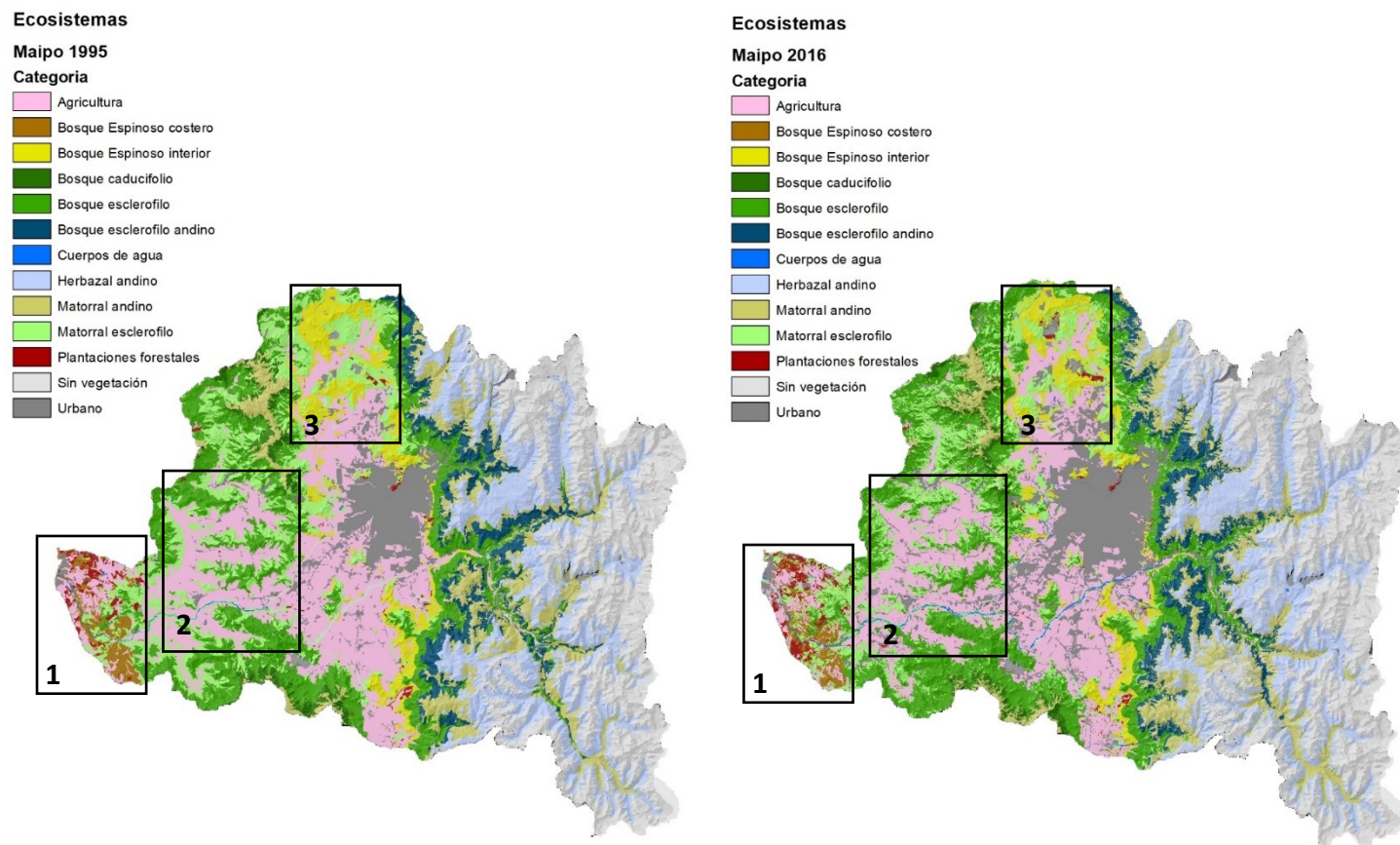


Figura 3. Distribución de los ecosistemas y del uso de suelo en la cuenca del río Maipo para los dos periodos de análisis. Se observan los cambios de fragmentación y pérdida de los ecosistemas señalados en el documento. La disminución (pérdida) y fragmentación, es mayor en tres ecosistemas. Bosque Espinoso costero (color café) en la parte baja de la cuenca (cuadro 1). Matorral Esclerófilo (color verde claro), en la zona baja de la cuenca (cuadro 2). Bosque Espinoso interior (color café claro), zona interior norte de la cuenca (cuadro 3).

3.1.2.-Cambios de uso de suelo

Los resultados del análisis de uso de suelo para las tres categorías analizadas (Agricultura, Plantaciones forestales y Urbano/Industrial) son presentados para la cuenca del río Maipo (Figura 4; Tablas 3, 4, 5 y 6). El mayor cambio que se observa es la expansión de las áreas urbanas en la zona norte y suroriente de Santiago, además de comunas del sector sur fuera del radio urbano. Las comunas con más expansión del uso de suelo urbano son Calera de Tango (30,3%) y Cerrillos (23,8%) en el sector sur, y Renca (19,2%), Quilicura (18%) y Huechuraba (17,7%) en el sector norte. La mayoría de la expansión urbana es sobre suelo agrícola, las excepciones se pueden identificar en las comunas del sector oriente de Santiago, que se han expandido hacia zonas precordilleranas, sobre los ecosistemas de Bosque Espinoso Interior y Bosque Esclerófilo Andino, como es el caso de las comunas de Peñalolén (14,1%) y Puente Alto (19,5%).

En el caso del uso de suelo Agrícola, el mayor efecto es el cambio hacia uso de suelos urbanos, en términos de expansión se observan variaciones de poca superficie a nivel comunal. Es relevante sí, la expansión de la zona agrícola en algunas comunas rurales, como es el caso de María Pinto (10,3%), San Pedro (10,5%) y Melipilla (5,3%). Estos cambios se producen sobre superficie de ecosistemas nativos, principalmente Matorral y Bosque Esclerófilo (Comunas de María Pinto y Melipilla), y de Bosque Espinoso Costero en la comuna de San Pedro.

Finalmente, en el caso del uso de suelo de Plantaciones Forestales, la comuna que presenta una mayor expansión en el periodo es la de San Pedro (11,4%) y San Antonio (5,4%). Que corresponden a la zona del secano costero de la Quinta Región, en esta zona a pesar de no ser de gran extensión los cambios identificados, son de gran importancia, ya que corresponden a zonas identificadas bajo un alto estrés hídrico y la expansión de plantaciones forestales (preferentemente plantaciones de Eucaliptos), estaría agregando más presión al requerimiento hídrico de la parte baja de la cuenca del Maipo.

Tabla 3. Cambios de uso de suelo en la cuenca del río Maipo para los dos periodos de tiempo analizados (1995-2016). Las superficies están calculadas en hectáreas. La superficie estable corresponde al área que se ha mantenido en el periodo, la expansión indica áreas donde se ha extendido el uso y el cambio, corresponde a la pérdida por otro tipo de cobertura de suelo.

<i>Nombre</i> <i>Uso de suelo</i>	<i>Total Cuenca</i>	<i>Superficie</i>			<i>Porcentaje</i>		
		<i>estable</i>	<i>expansión</i>	<i>cambio</i>	<i>estable</i>	<i>expansión</i>	<i>cambio</i>
Agrícola	1530000	192130	28711	63950	12.6	1.9	4.2
Urbano	1530000	78428	57522	5067	5.1	3.8	0.3
Forestal	1530000	6306	6901	4312	0.4	0.5	0.3

Tabla 4. Cambios de uso de suelo urbano en la cuenca del río Maipo para los dos periodos de tiempo analizados (1995-2016). Las superficies están calculadas en hectáreas y se muestran solo las comunas donde se han identificado procesos de cambio. La superficie estable corresponde al área urbana que se ha mantenido en el periodo, la expansión indica áreas donde se ha extendido el uso urbano y el cambio, corresponde a la pérdida del uso de suelo urbano por otro tipo de cobertura de suelo.

Nombre Comuna	Superficie				Porcentaje		
	Total	estable	expansión	cambio	estable	expansión	cambio
SAN ANTONIO	39453	1371	1163	164	3.5	2.9	0.4
CARTAGENA	411	3	19	0	0.7	4.6	0.0
SANTO DOMINGO	5382	383	516	92	7.1	9.6	1.7
QUILPUÉ	23996	0	214	0	0.0	0.9	0.0
MOSTAZAL	52429	200	703	78	0.4	1.3	0.1
CODEGUA	18160	85	248	39	0.5	1.4	0.2
PAINE	67597	1215	3428	227	1.8	5.1	0.3
BUIN	21750	1108	2206	84	5.1	10.1	0.4
PUDAHUEL	19726	2971	3251	350	15.1	16.5	1.8
CERRO NAVIA	1110	900	67	5	81.1	6.0	0.5
COLINA	96431	3303	4945	234	3.4	5.1	0.2
TILITIL	64910	1186	2313	204	1.8	3.6	0.3
LAMPA	45015	1540	3356	202	3.4	7.5	0.4
HUECHURABA	4490	949	796	87	21.1	17.7	1.9
CONCHALÍ	1111	1111	0	0	100.0	0.0	0.0
MARÍA PINTO	39328	374	806	115	1.0	2.0	0.3
CURACAVÍ	69231	1089	2662	446	1.6	3.8	0.6
LA PINTANA	3045	1522	284	26	50.0	9.3	0.9
EL BOSQUE	1432	1431	3	0	99.9	0.2	0.0
ESTACIÓN CENTRAL	1435	1435	0	0	100.0	0.0	0.0
PEDRO AGUIRRE CERDA	876	875	0	0	99.9	0.0	0.0
RECOLETA	1578	1332	137	4	84.4	8.7	0.3
INDEPENDENCIA	736	733	0	2	99.7	0.0	0.3
ISLA DE MAIPO	18934	474	1416	68	2.5	7.5	0.4
LO ESPEJO	824	735	88	0	89.2	10.7	0.0
LA CISTERNA	998	998	0	0	100.0	0.0	0.0
LA FLORIDA	7082	3461	503	44	48.9	7.1	0.6
PEÑALOLÉN	5361	2154	754	51	40.2	14.1	1.0
LAS CONDES	9904	3613	532	19	36.5	5.4	0.2
LA REINA	2344	1779	128	0	75.9	5.5	0.0
LO BARNECHEA	102161	3352	1913	533	3.3	1.9	0.5
VITACURA	2842	1917	218	76	67.5	7.7	2.7
QUINTA NORMAL	1182	1176	6	1	99.5	0.5	0.1
LO PRADO	656	655	0	0	99.8	0.0	0.0
CERRILLOS	1678	1281	400	0	76.3	23.8	0.0

MAIPÚ	13768	3953	2215	34	28.7	16.1	0.2
MELIPILLA	134970	1200	6254	178	0.9	4.6	0.1
MACUL	1284	1284	1	0	100.0	0.1	0.0
ÑUÑO A	1686	1686	0	0	100.0	0.0	0.0
PEÑAFLO R	6933	1131	1332	76	16.3	19.2	1.1
PADRE HURTADO	8107	701	1107	36	8.6	13.7	0.4
PUENTE ALTO	8824	3804	1725	64	43.1	19.5	0.7
QUILICURA	5732	1989	1034	153	34.7	18.0	2.7
RENCA	2376	1161	455	55	48.9	19.2	2.3
CALERA DE TANGO	7315	821	2219	47	11.2	30.3	0.6
SAN BERNARDO	15288	3175	1904	139	20.8	12.5	0.9
SAN JOSÉ DE MAIPO	496402	807	1107	657	0.2	0.2	0.1
PIRQUE	44525	1063	2052	245	2.4	4.6	0.6
SAN JOAQUÍN	994	992	0	0	99.8	0.0	0.0
SAN MIGUEL	961	961	0	0	100.0	0.0	0.0
SAN RAMÓN	628	628	0	0	100.0	0.0	0.0
LA GRANJA	1009	1004	0	0	99.5	0.0	0.0
PROVIDENCIA	1439	1266	18	22	88.0	1.3	1.5
SANTIAGO	2314	2297	4	8	99.3	0.2	0.3
EL MONTE	11487	494	825	71	4.3	7.2	0.6
TALAGANTE	12660	1296	2056	129	10.2	16.2	1.0
SAN PEDRO	12622	4	139	2	0.0	1.1	0.0

Tabla 5. Cambios de uso de suelo agrícola en la cuenca del río Maipo para los dos periodos de tiempo analizados (1995-2016). Las superficies están calculadas en hectáreas y se muestran solo las comunas donde se han identificado procesos de cambio. La superficie estable corresponde al área agrícola que se ha mantenido en el periodo, la expansión indica áreas donde se ha extendido el uso agrícola y el cambio, corresponde a la pérdida del uso de suelo agrícola por otro tipo de cobertura de suelo.

<i>Nombre Comuna</i>	<i>Superficie</i>				<i>Porcentaje</i>		
	<i>Total</i>	<i>estable</i>	<i>expansión</i>	<i>cambio</i>	<i>estable</i>	<i>expansión</i>	<i>cambio</i>
SAN ANTONIO	39453	6664	2282	5779	16.9	5.8	14.6
CARTAGENA	411	0	10	0	0.0	2.4	0.0
SANTO DOMINGO	5382	1828	421	811	34.0	7.8	15.1
QUILPUÉ	23996	274	179	417	1.1	0.7	1.7
MOSTAZAL	52429	6518	653	2378	12.4	1.2	4.5
CODEGUA	18160	2931	226	790	16.1	1.2	4.4
PAINE	67597	17966	1275	3683	26.6	1.9	5.4
BUIN	21750	14080	628	2192	64.7	2.9	10.1
PUDAHUEL	19726	3115	374	2460	15.8	1.9	12.5
CERRO NAVIA	1110	108	20	43	9.7	1.8	3.9
COLINA	96431	8762	1490	3881	9.1	1.5	4.0

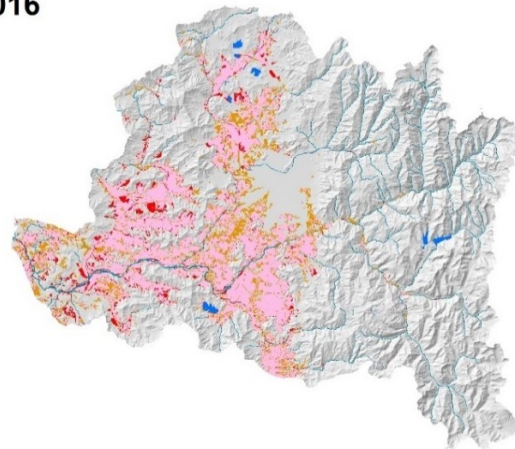
TILTIL	64910	6384	1135	1231	9.8	1.7	1.9
LAMPA	45015	11520	1540	4372	25.6	3.4	9.7
HUECHURABA	4490	217	132	532	4.8	2.9	11.8
MARÍA PINTO	39328	12171	4040	1418	30.9	10.3	3.6
CURACAVÍ	69231	6895	1879	1758	10.0	2.7	2.5
LA PINTANA	3045	1202	30	292	39.5	1.0	9.6
EL BOSQUE	1432	0	0	3	0.0	0.0	0.2
ISLA DE MAIPO	18934	7713	768	1773	40.7	4.1	9.4
LO ESPEJO	824	0	0	84	0.0	0.0	10.2
LA FLORIDA	7082	38	21	295	0.5	0.3	4.2
PEÑALOLÉN	5361	200	9	419	3.7	0.2	7.8
LAS CONDES	9904	0	1	15	0.0	0.0	0.2
LA REINA	2344	0	0	36	0.0	0.0	1.5
LO BARNECHEA	102161	23	38	138	0.0	0.0	0.1
CERRILLOS	1678	0	0	402	0.0	0.0	24.0
MAIPÚ	13768	3191	241	2477	23.2	1.8	18.0
MELIPILLA	134970	40901	7196	8207	30.3	5.3	6.1
MACUL	1284	0	0	1	0.0	0.0	0.1
PEÑAFLORES	6933	2740	155	1425	39.5	2.2	20.6
PADRE HURTADO	8107	3814	156	1225	47.0	1.9	15.1
PUENTE ALTO	8824	1046	77	1937	11.9	0.9	22.0
QUILICURA	5732	1804	187	961	31.5	3.3	16.8
RENCAN	2376	305	36	374	12.8	1.5	15.7
CALERA DE TANGO	7315	3355	182	2227	45.9	2.5	30.4
SAN BERNARDO	15288	6710	390	1959	43.9	2.6	12.8
SAN JOSÉ DE MAIPO	496402	689	274	1260	0.1	0.1	0.3
PIRQUE	44525	6372	663	2303	14.3	1.5	5.2
EL MONTE	11487	5698	299	961	49.6	2.6	8.4
TALAGANTE	12660	6039	373	2034	47.7	2.9	16.1
SAN PEDRO	12622	857	1331	1397	6.8	10.5	11.1

Tabla 6. Cambios de uso de suelo forestal en la cuenca del río Maipo para los dos periodos de tiempo analizados (1995-2016). Las superficies están calculadas en hectáreas y se muestran solo las comunas donde se han identificado procesos de cambio. La superficie estable corresponde al área forestal que se ha mantenido en el periodo, la expansión indica áreas donde se ha extendido el uso forestal y el cambio, corresponde a la pérdida del uso de suelo forestal por otro tipo de cobertura de suelo.

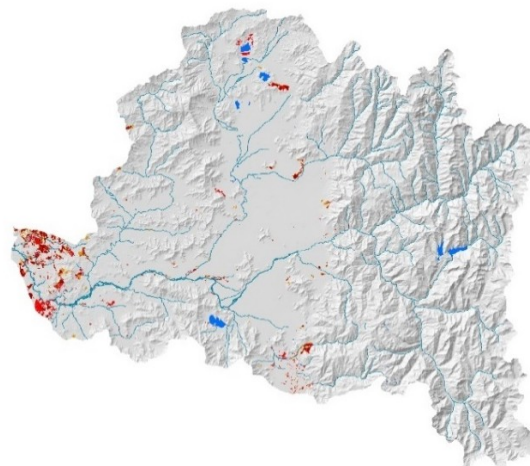
Nombre Comuna	Superficie				Porcentaje		
	Total	estable	expansión	cambio	estable	expansión	cambio
SAN ANTONIO	39453	3264	2147	1909	8.3	5.4	4.8
CARTAGENA	411	1	1	21	0.2	0.2	5.1
SANTO DOMINGO	5382	667	121	195	12.4	2.2	3.6
QUILPUÉ	23996	0	4	0	0.0	0.0	0.0
MOSTAZAL	52429	407	751	412	0.8	1.4	0.8
CODEGUA	18160	30	211	86	0.2	1.2	0.5
PAINE	67597	36	28	67	0.1	0.0	0.1
BUIN	21750	39	15	60	0.2	0.1	0.3
PUDAHUEL	19726	24	144	2	0.1	0.7	0.0
COLINA	96431	347	338	147	0.4	0.4	0.2
TILITIL	64910	0	579	0	0.0	0.9	0.0
LAMPA	45015	0	13	12	0.0	0.0	0.0
HUECHURABA	4490	36	43	94	0.8	1.0	2.1
MARÍA PINTO	39328	13	29	10	0.0	0.1	0.0
CURACAVÍ	69231	134	45	183	0.2	0.1	0.3
LA PINTANA	3045	0	4	0	0.0	0.1	0.0
RECOLETA	1578	101	3	55	6.4	0.2	3.5
ISLA DE MAIPO	18934	68	107	60	0.4	0.6	0.3
LA FLORIDA	7082	24	23	22	0.3	0.3	0.3
PEÑALOLÉN	5361	27	15	147	0.5	0.3	2.7
LAS CONDES	9904	3	5	6	0.0	0.1	0.1
LO BARNECHEA	102161	0	2	0	0.0	0.0	0.0
VITACURA	2842	14	27	13	0.5	1.0	0.5
MAIPÚ	13768	0	8	55	0.0	0.1	0.4
MELIPILLA	134970	366	513	349	0.3	0.4	0.3
PEÑAFLORES	6933	0	9	0	0.0	0.1	0.0
PADRE HURTADO	8107	0	24	10	0.0	0.3	0.1
PUENTE ALTO	8824	8	8	16	0.1	0.1	0.2
QUILICURA	5732	0	13	1	0.0	0.2	0.0
RENCA	2376	49	21	22	2.1	0.9	0.9
SAN BERNARDO	15288	6	2	5	0.0	0.0	0.0
SAN JOSÉ DE MAIPO	496402	26	19	15	0.0	0.0	0.0
PIRQUE	44525	111	19	75	0.2	0.0	0.2
PROVIDENCIA	1439	129	8	9	9.0	0.6	0.6
EL MONTE	11487	48	60	72	0.4	0.5	0.6
TALAGANTE	12660	43	101	45	0.3	0.8	0.4
SAN PEDRO	12622	285	1441	137	2.3	11.4	1.1

Cambio de uso de suelo 1995-2016

- Agricultura
- Expansión
- Pérdida
- Cuerpos de Agua
- Ríos y Esteros



- Plantaciones forestales
- Expansión
- Pérdida
- Cuerpos de Agua
- Ríos y Esteros



- Urbano
- Expansión
- Pérdida
- Cuerpos de Agua
- Ríos y Esteros

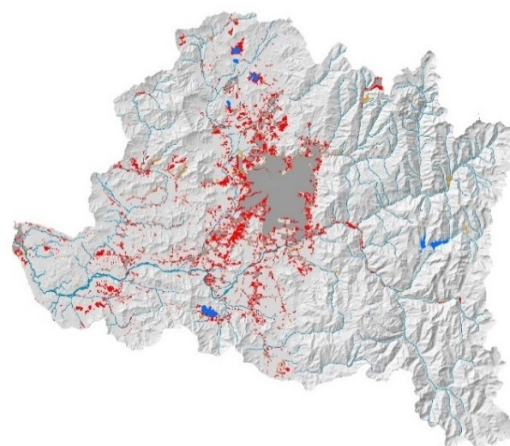


Figura 4. Cambio de uso en las tres coberturas analizadas en la cuenca de río Maipo. En la figura superior se muestran los cambios en el uso de suelo agrícola, en la figura del medio se presentan los cambios en las plantaciones forestales y finalmente, en la figura inferior, los cambios en el uso de suelo urbano. El color rojo corresponde a expansión y el naranja a pérdida por cambio a otros usos.

3.1.3.-Fragmentación por ecosistema

A continuación, se presenta un conjunto de métricas de paisaje, que permite caracterizar el proceso de fragmentación de los ecosistemas. En la Tabla 7 se presentan las que describen el tamaño y número de fragmentos de superficie con vegetación natural en los dos periodos de análisis reciente. Como resultado general, todos los ecosistemas presentan un mayor número de fragmentos y con un menor tamaño promedio. Lo que está dando cuenta del proceso de fragmentación y pérdida de la cobertura natural, que produce efectos negativos en los ecosistemas (Figura 1). Esto puede ser esperable por la diferencia en la unidad mínima de análisis (polígono reconocible de menor tamaño), que en la versión original del catastro era de 6,25 hectáreas y en las versiones recientes contiene polígonos mínimos de 0,27 hectáreas, por lo que los resultados deben ser analizados caso a caso.

Tabla 7. Métricas de paisaje, tamaño, número y desviación de fragmentos cuenca del río Maipo.

	Tamaño promedio de fragmento		Número de fragmentos		Desviación estándar tamaño fragmento	
	1995	2016	1995	2016	1995	2016
Bosque Caducifolio	230	49	95	434	224	412
Bosque Esclerófilo	565	115	391	2007	541	1471
Bosque Esclerófilo andino	335	72	210	934	349	1007
Bosque Espinoso costero	173	46	97	288	467	733
Bosque Espinoso interior	340	73	200	774	552	812
Herbazal andino	1850	220	113	883	1010	1511
Matorral andino	287	47	456	2642	429	1272
Matorral Esclerófilo	220	34	730	4135	415	656

El borde corresponde al perímetro lineal que rodea los fragmentos, es un elemento muy relevante en términos de fragmentación ya que los bordes de los fragmentos pueden transformarse en barreras para el movimiento y flujo de especies e individuos. Respecto a esto, el promedio del borde ha disminuido lo que corrobora el aumento de la fragmentación del ecosistema. Se observa el aumento en todos los ecosistemas, al igual que la densidad.

Tabla 8. Métricas de paisaje relacionadas al borde de los fragmentos cuenca del río Maipo.

	Bordes totales		Densidad de bordes		Promedio de borde por fragmento	
	1995	2016	1995	2016	1995	2016
Bosque Caducifolio	906875	2341274	1.01	2.76	9546	5395
Bosque Esclerófilo	6111982	14014390	6.80	16.51	15632	6983
Bosque Esclerófilo andino	2325570	5280281	2.59	6.22	11074	5653
Bosque Espinoso costero	829500	1425833	0.92	1.68	8552	4951
Bosque Espinoso interior	1949460	4083209	2.17	4.81	9747	5275
Herbazal andino	3701748	7860965	4.12	9.26	32759	8903
Matorral andino	4336985	11478871	4.83	13.53	9511	4345
Matorral Esclerófilo	6638176	17111201	7.39	20.16	9093	4138

Al igual que el tamaño y la disposición espacial de los fragmentos (Figura 1). La forma de los fragmentos es un indicador también de fragmentación, ya que formas de fragmentos dan cuenta de procesos similares de fragmentación, lo cual se observa en el caso de esta comparación; la disminución de los fragmentos queda reflejada en la relación perímetro-área al ser mayor en el segundo periodo en la mayoría de los ecosistemas. Aquellos que mostraron aumento de superficie en el análisis de pérdida, presentan un patrón distinto, como es el caso Matorral Esclerófilo (por el cambio en la definición de Bosque).

Tabla 9. Métricas de paisaje relacionadas a la forma de los fragmentos cuenca del río Maipo.

	Índice promedio de forma		Relación promedio perímetro-área	
	1995	2016	1995	2016
Bosque Caducifolio	2.01	2.42	869	8954
Bosque Esclerófilo	2.09	2.14	2886	8093
Bosque Esclerófilo andino	2.00	2.36	906	4303
Bosque Espinoso costero	2.04	2.19	980	8209
Bosque Espinoso interior	1.80	2.28	530	3801
Herbazal andino	1.96	2.02	23285	16319
Matorral andino	2.64	1.96	127531	5910
Matorral Esclerófilo	1.98	2.25	11441	3498

Finalmente, para evaluar la conectividad en cada ecosistema, se analizan los resultados del software CONEFOR para cada ecosistema en los dos periodos de tiempo. En la tabla 10 se presentan los resultados de la cuenca del río Maipo, donde se observa un mayor número de conexiones y un menor número de componentes en el periodo actual, lo que indica una mayor fragmentación; la conectividad equivalente aumenta solo en el Bosque Esclerófilo andino producto del cambio de resolución del Catastro.

Tabla 10. Métricas de conectividad en la cuenca del río Maipo.

Categoría	Número de conexiones		Número de componentes		Conectividad equivalente	
	1995	2016	1995	2016	1995	2016
Bosque Caducifolio	26	749	75	104	0.54	0.43
Bosque Esclerófilo	100	3706	316	609	0.62	0.56
Bosque Esclerófilo Andino	80	1784	148	198	0.18	0.22
Bosque Espinoso Costero	54	440	67	80	0.81	0.58
Bosque Espinoso Interior	37	1364	168	255	0.27	0.17

3.2.-Cuenca del río Maule

En la cuenca del río Maule se distribuyen seis ecosistemas, dos que corresponden a Bosques Caducifolios. El **Bosque Caducifolio costero**, que se ubica en la desembocadura de la cuenca, el que también se describe como Bosque Maulino. Este bosque es dominado por especies del género *Nothofagus*, específicamente en este ecosistema la especie dominante es el Hualo (*Nothofagus glauca*). Las comunas donde más se encuentran estos ecosistemas son las presentes en la cordillera de la costa: Constitución, Empedrado, Chanco, Cauquenes y Quirihue. La superficie de este ecosistema en la cuenta es de 22.070 hectáreas. En el sector precordillerano se encuentra el **Bosque Caducifolio andino**, dominado también por especies de *Nothofagus*, el cual se extiende en forma continua marcando el límite arbóreo de la vegetación. Las comunas que concentran estos ecosistemas son las con extensión en la precordillera andina: Molina, San Clemente, Colbún, Linares, Longaví, Parral y San Fabián, de norte a sur. La superficie total del ecosistema es de 251.215 hectáreas. En la zona interior se encuentra el **Bosque Espinoso interior**, dominado por el Espino (*Acacia caven*). Este se encuentra distribuido en la zona interior y en la cordillera de la costa, con mayor concentración en las comunas de Penciahue, San Javier y Cauquenes, la superficie del ecosistema es de 154.117 hectáreas. El **Bosque Esclerófilo**, se encuentra en la cordillera de la costa, zona interior y en la precordillera. En la zona costera se presenta en la comuna de San Javier y en la precordillera andina se concentra en las comunas de Colbún, Linares y Longaví, tiene una superficie de 138.527 hectáreas. Finalmente, en la zona andina, está presente en orden altitudinal el **Matorral y el Herbazal andinos**.

Ambos se distribuyen principalmente en dos comunas, San Clemente y Colbún. Con superficies de 543.993 hectáreas para el matorral y de 52.053 hectáreas en el caso del herbazal andino.

3.2.1.-Cambios por ecosistema

Los resultados del análisis de pérdida de los ecosistemas en el río Maule, dan cuenta de niveles de pérdida histórica muy elevados, especialmente en la zona costera e interior. El Bosque Caducifolio costero ha perdido más del 80% de su superficie original, los Bosques Esclerófilos y Espinoso han perdido más del 70% de su superficie, lo que da cuenta del alto grado de perturbación antrópica en la cuenca. Los ecosistemas andinos no presentan cambios en su superficie entre los dos periodos lo que podría estar relacionado a la definición del catastro, que identifica este tipo de ecosistemas en zonas más amplias que la definición histórica (Figura 5)

Tabla 11. Pérdida histórica por ecosistema cuenca del río Maule.

	Superficie Formación (Hectáreas)		Diferencia	% Pérdida
	Histórico	2016		
Bosque Caducifolio andino	415951	251216	-164735	39.60
Bosque Caducifolio costero	112098	22070	-90028	80.31
Bosque Esclerófilo	511247	138527	-372720	72.90
Bosque Espinoso interior	539171	154118	-385053	71.42
Herbazal andino	52053	52053	0	0.00
Matorral andino	451239	543994	92755	-20.56

La pérdida reciente en los ecosistemas mantiene la misma dirección que la pérdida histórica, siendo mayor en la zona costera e interior de la cuenca. En la zona andina, la no identificación de pérdidas (que sí se identifica en la zona más baja precordillerana) debido a la diferencia en la metodología empleada por los catastros (Figura 6).

Tabla 12. Pérdida reciente por ecosistema cuenca del río Maule.

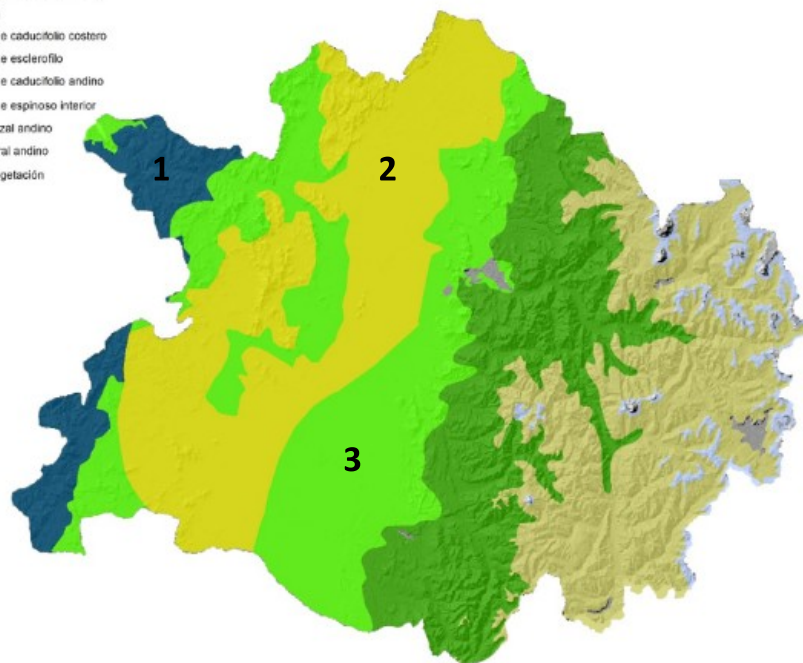
	Superficie Formación (Hectáreas)		Diferencia	% Pérdida
	1995	2016		
Bosque Caducifolio andino	223777	251216	27438	
Bosque Caducifolio costero	34873	22070	-12803	36.71
Bosque Esclerófilo	188116	138527	-49589	26.36
Bosque Espinoso interior	202721	154118	-48603	23.98
Herbazal andino	51935	52053	118	-0.23
Matorral andino	563827	543994	-19833	3.52

Formación vegetal

(Luebert & Pliscoff 2017)

Formación

- Bosque caducifolio costero
- Bosque esclerófilo
- Bosque caducifolio andino
- Bosque espinoso interior
- Herbazal andino
- Matorral andino
- Sin vegetación



Ecosistemas

Maule 2016

Categoría

- Agricultura
- Bosque Caducifolio andino
- Bosque Caducifolio costero
- Bosque Esclerófilo
- Bosque Espinoso interior
- Cuerpos de agua
- Herbazal andino
- Matorral andino
- Plantaciones forestales
- Sin vegetación
- Urbano

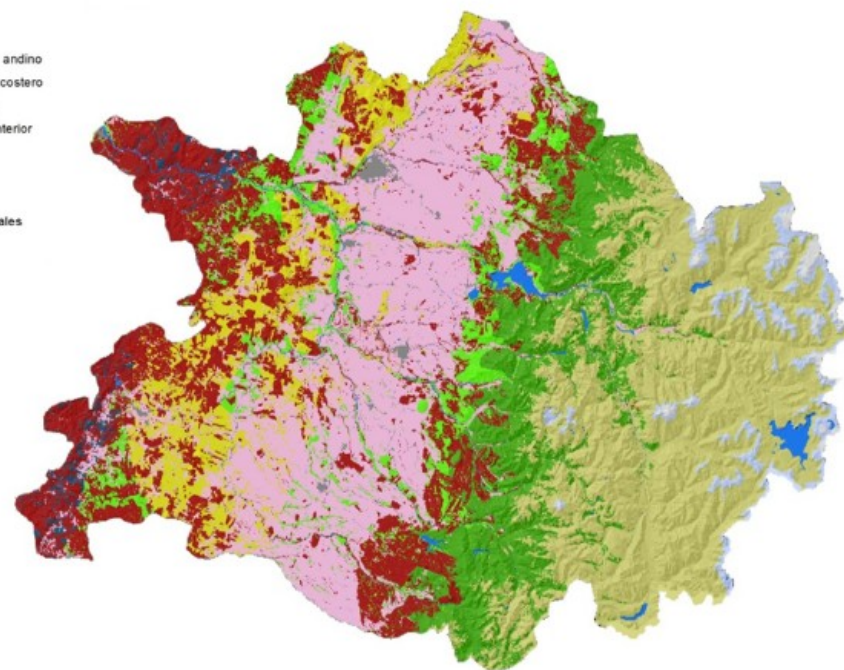


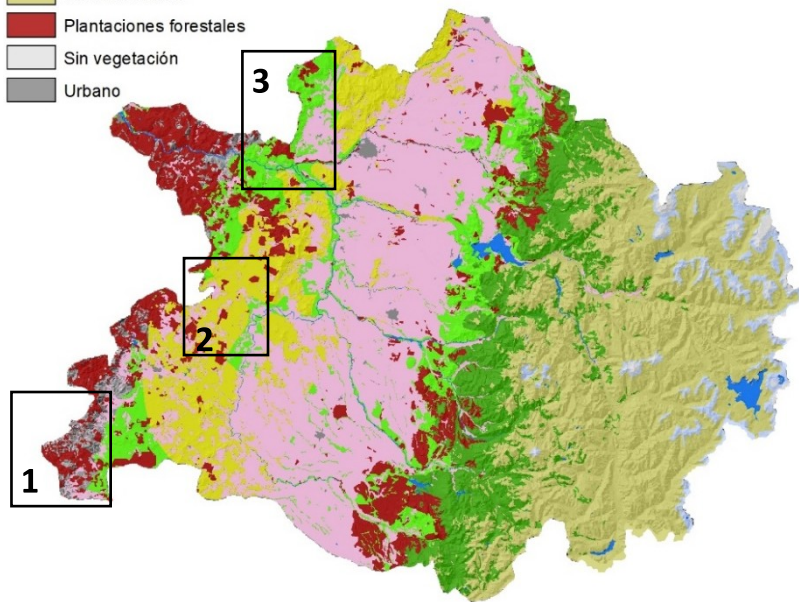
Figura 5. Comparación entre la distribución histórica potencial de los ecosistemas presentes en la cuenca del río Maule y su distribución actual. En la figura de la izquierda se presenta la distribución potencial, en la derecha la distribución de los ecosistemas, junto a los usos de suelo antrópicos (agricultura, plantaciones forestales y urbano), para el último periodo de análisis (año 2016). Los ecosistemas que han perdido más superficie son: 1.- El Bosque Caducifolio costero (color azul), 2.- El Bosque Espinoso interior (color amarillo) y 3.- El Bosque Esclerófilo (color verde claro).

Ecosistemas

Maule 1995

Categoría

- Agricultura
- Bosque Caducifolio andino
- Bosque Caducifolio costero
- Bosque Esclerofilo
- Bosque Espinoso interior
- Cuerpos de agua
- Herbazal andino
- Matorral andino
- Plantaciones forestales
- Sin vegetación
- Urbano



Ecosistemas

Maule 2016

Categoría

- Agricultura
- Bosque Caducifolio andino
- Bosque Caducifolio costero
- Bosque Esclerofilo
- Bosque Espinoso interior
- Cuerpos de agua
- Herbazal andino
- Matorral andino
- Plantaciones forestales
- Sin vegetación
- Urbano

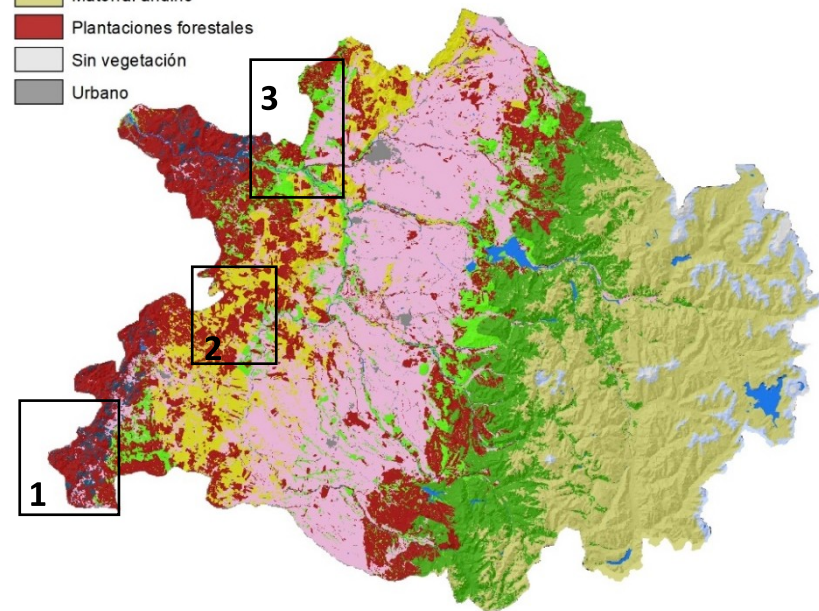


Figura 6. Distribución de los ecosistemas y del uso de suelo en la cuenca del río Maule para los dos periodos de análisis. Se observan los cambios de fragmentación y pérdida de los ecosistemas señalados en el documento. La disminución (pérdida) y fragmentación, es mayor en tres ecosistemas. Bosque Caducifolio costero (color azul) en la parte baja de la cuenca (cuadro 1). Bosque Espinoso interior (color café claro), zona interior norte de la cuenca (cuadro 2). Matorral Esclerófilo (color verde claro), en la zona baja de la cuenca (cuadro 3)

3.2.2.- Cambio de uso de suelo

El análisis de cambio de uso de suelo para la cuenca del río Maule se presenta en la figura 7 y en las tablas 13, 14, 15 y 16. La tabla 14 da cuenta de los cambios en el uso de suelo Urbano en la cuenca. En general, el cambio es mínimo en los últimos 20 años, solamente se destaca la expansión de la superficie urbana en la comuna de Talca, la que está asociada a la pérdida de la superficie agrícola. En relación con la cobertura de uso de suelo agrícola, en la tabla 15 se puede observar que los cambios son mínimos dentro del periodo de análisis. Las comunas que muestran más expansión agrícola son las de Cauquenes (7,6%) y Retiro (7,0%). En ambos casos, la agricultura se expandiría en áreas de Bosque Espinoso interior. Finalmente, en la tabla 16 se presentan los resultados de los cambios en el uso de suelo forestal. Se observa la expansión de las plantaciones forestales, especialmente en las comunas del sector de la cordillera de la costa de la cuenca. La comuna de Cauquenes presenta una expansión de un 27,9% de su superficie dentro de la cuenca, luego sigue Pencahue (27,3%) y Empedrado (25,5%). El aumento de la superficie de plantaciones forestales en esta zona es relevante por dos aspectos. El primero se refiere al alto grado de riesgo que poseen los ecosistemas de la zona costera de la región del Maule. Los que son considerados como En Peligro Crítico según la lista roja de ecosistemas, que corresponde al mayor nivel de riesgo que puede tener un ecosistema. Esto se debe a la disminución histórica de la superficie de estos ecosistemas y la mantención de la tasa de pérdida en los últimos años, como se observa también en estos resultados. El segundo elemento relevante, es la presencia de incendios forestales en esta zona, siendo el mega incendio del año 2017 (Pliscoff *et al.* 2017) el mayor evento registrado, donde en toda la zona costera entre la regiones de O'Higgins y del Biobío se quemaron alrededor de 450 mil hectáreas. Esto hace aún más importante la protección de los escasos fragmentos con vegetación nativa existentes en las comunas costeras de la cuenca del Maule. También hay que tener en cuenta que el análisis realizado llegó hasta el año anterior al mega incendio. Por lo que es probable, que la situación de pérdida y fragmentación de los ecosistemas nativos sea mucho peor en la zona costera en la actualidad.

Tabla 13. Cambios de uso de suelo en la cuenca del río Maule para los dos periodos de tiempo analizados (1995-2016). Las superficies están calculadas en hectáreas. La superficie estable corresponde al área que se ha mantenido en el periodo, la expansión indica áreas donde se ha extendido el uso y el cambio, corresponde a la pérdida por otro tipo de cobertura de suelo.

Nombre Uso de suelo	Total Cuenca	Superficie			Porcentaje		
		estable	expansión	cambio	estable	expansión	cambio
Agrícola	2108000	457197	59813	130032	21.7	2.8	6.2
Urbano	2108000	6360	12254	1453	0.3	0.6	0.1
Forestal	2108000	172535	205805	37428	8.2	9.8	1.8

Tabla 14. Cambios de uso de suelo urbano en la cuenca del río Maule para los dos periodos de tiempo analizados (1995-2016). Las superficies están calculadas en hectáreas y se muestran solo las comunas donde se han identificado procesos de cambio. La superficie estable corresponde al área urbana que se ha mantenido en el periodo, la expansión indica áreas donde se ha extendido el uso urbano y el cambio, corresponde a la pérdida del uso de suelo urbano por otro tipo de cobertura de suelo.

Nombre Comuna	Total	Superficie			Porcentaje		
		estable	expansión	cambio	estable	expansión	cambio
CAUQUENES	180606	487	532	168	0.3	0.3	0.1
CHANCO	355	0	12	0	0.0	3.4	0.0
CONSTITUCIÓN	50965	570	539	273	1.1	1.1	0.5
PENCAHUE	76579	165	231	57	0.2	0.3	0.1
LINARES	144417	782	1445	46	0.5	1.0	0.0
LONGAVÍ	144356	112	987	33	0.1	0.7	0.0
PARRAL	162306	431	601	99	0.3	0.4	0.1
RETIRO	81722	118	693	65	0.1	0.8	0.1
SAN JAVIER	129030	341	1005	85	0.3	0.8	0.1
PELARCO	32924	46	92	16	0.1	0.3	0.0
RÍO CLARO	42640	67	569	98	0.2	1.3	0.2
SAN RAFAEL	25716	69	90	54	0.3	0.3	0.2
TALCA	19162	2240	1698	101	11.7	8.9	0.5
MAULE	23489	126	640	42	0.5	2.7	0.2
VILLA ALEGRE	18443	100	413	25	0.5	2.2	0.1
YERBAS BUENAS	25145	94	628	80	0.4	2.5	0.3
COLBÚN	290588	104	1085	56	0.0	0.4	0.0
SAN CLEMENTE	442474	213	491	132	0.0	0.1	0.0
MOLINA	46942	184	193	10	0.4	0.4	0.0
QUIRIHUE	34888	78	73	5	0.2	0.2	0.0
SAN CARLOS	11990	0	33	0	0.0	0.3	0.0
ÑIQUÉN	49059	33	204	8	0.1	0.4	0.0

Tabla 15. Cambios de uso de suelo agrícola en la cuenca del río Maule para los dos periodos de tiempo analizados (1995-2016). Las superficies están calculadas en hectáreas y se muestran solo las comunas donde se han identificado procesos de cambio. La superficie estable corresponde al área agrícola que se ha mantenido en el periodo, la expansión indica áreas donde se ha extendido el uso agrícola y el cambio, corresponde a la pérdida del uso de suelo agrícola por otro tipo de cobertura de suelo.

Nombre Comuna	Superficie				Porcentaje		
	Total	estable	expansión	cambio	estable	expansión	cambio
CAUQUENES	180606	15165	13702	27230	8.4	7.6	15.1
PELLUHUE	1130	0	1	0	0.0	0.1	0.0
CONSTITUCIÓN	50965	941	561	1052	1.8	1.1	2.1
EMPEDRADO	8002	240	408	342	3.0	5.1	4.3
PENCAHUE	76579	14211	4361	4007	18.6	5.7	5.2
LINARES	144417	26156	2129	8831	18.1	1.5	6.1
LONGAVÍ	144356	45537	2669	6659	31.5	1.8	4.6
PARRAL	162306	55641	3817	12904	34.3	2.4	8.0
RETIRO	81722	47654	5758	14580	58.3	7.0	17.8
SAN JAVIER	129030	22181	7636	9321	17.2	5.9	7.2
PELARCO	32924	19053	1861	2468	57.9	5.7	7.5
RÍO CLARO	42640	22613	1692	9224	53.0	4.0	21.6
SAN RAFAEL	25716	16277	1635	3352	63.3	6.4	13.0
TALCA	19162	14527	610	2589	75.8	3.2	13.5
MAULE	23489	12684	960	1535	54.0	4.1	6.5
VILLA ALEGRE	18443	16257	645	883	88.1	3.5	4.8
YERBAS BUENAS	25145	21331	750	1840	84.8	3.0	7.3
COLBÚN	290588	15700	1029	3384	5.4	0.4	1.2
SAN CLEMENTE	442474	45060	3084	6968	10.2	0.7	1.6
MOLINA	46942	6125	1599	1630	13.0	3.4	3.5
QUIRIHUE	34888	1862	1234	2817	5.3	3.5	8.1
COBQUECURA	1356	40	36	86	2.9	2.7	6.3
SAN CARLOS	11990	6867	607	1326	57.3	5.1	11.1
ÑIQUÉN	49059	29858	2333	5392	60.9	4.8	11.0
SAN FABIÁN	31832	1217	696	1612	3.8	2.2	5.1

Tabla 16. Cambios de uso de suelo forestal en la cuenca del río Maipo para los dos periodos de tiempo analizados (1995-2016). Las superficies están calculadas en hectáreas y se muestran solo las comunas donde se han identificado procesos de cambio. La superficie estable corresponde al área forestal que se ha mantenido en el periodo analizado, la expansión indica áreas donde se ha extendido el uso forestal y el cambio, corresponde a la pérdida del uso de suelo forestal por otro tipo de cobertura de suelo.

Nombre Comuna	Superficie				Porcentaje		
	Total	estable	expansión	cambio	estable	expansión	cambio
CAUQUENES	180606	26820	50340	3952	14.9	27.9	2.2
CHANCO	355	327	44	8	92.1	12.4	2.3
PELLUHUE	1130	651	231	117	57.6	20.4	10.4
CONSTITUCIÓN	50965	37459	4901	4635	73.5	9.6	9.1
EMPEDRADO	8002	3013	2041	174	37.7	25.5	2.2
CUREPTO	149	37	18	2	24.8	12.1	1.3
PENCAHUE	76579	5627	20877	1601	7.3	27.3	2.1
LINARES	144417	3377	9428	1649	2.3	6.5	1.1
LONGAVÍ	144356	14133	8574	3966	9.8	5.9	2.7
PARRAL	162306	18396	9065	2815	11.3	5.6	1.7
RETIRO	81722	1158	11050	358	1.4	13.5	0.4
SAN JAVIER	129030	18287	30439	3436	14.2	23.6	2.7
PELARCO	32924	2931	2863	1844	8.9	8.7	5.6
RÍO CLARO	42640	786	7781	664	1.8	18.2	1.6
SAN RAFAEL	25716	194	1967	75	0.8	7.6	0.3
TALCA	19162	233	606	376	1.2	3.2	2.0
MAULE	23489	608	2262	315	2.6	9.6	1.3
VILLA ALEGRE	18443	67	309	121	0.4	1.7	0.7
YERBAS BUENAS	25145	470	973	156	1.9	3.9	0.6
COLBÚN	290588	1871	6019	1064	0.6	2.1	0.4
SAN CLEMENTE	442474	9419	12595	3820	2.1	2.8	0.9
MOLINA	46942	3805	2221	1576	8.1	4.7	3.4
QUIRIHUE	34888	12365	11668	2053	35.4	33.4	5.9
COBQUECURA	1356	517	477	46	38.1	35.2	3.4
SAN CARLOS	11990	600	2295	85	5.0	19.1	0.7
ÑIQUÉN	49059	4480	4600	874	9.1	9.4	1.8
SAN FABIÁN	31832	4904	2161	1646	15.4	6.8	5.2

Cambio de uso de suelo 1995-2016

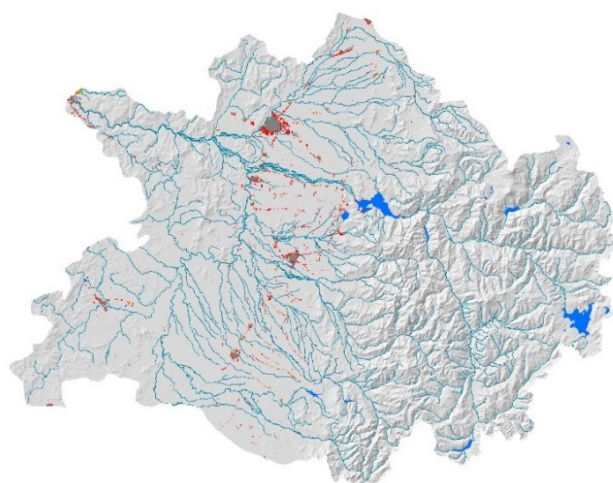
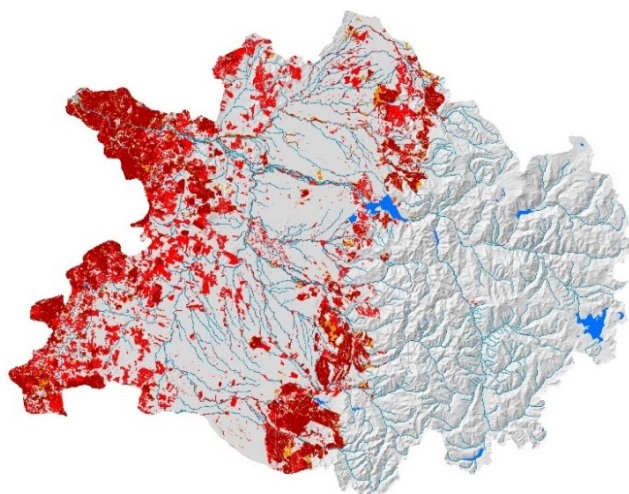
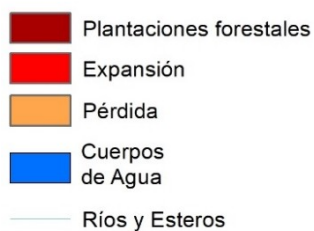
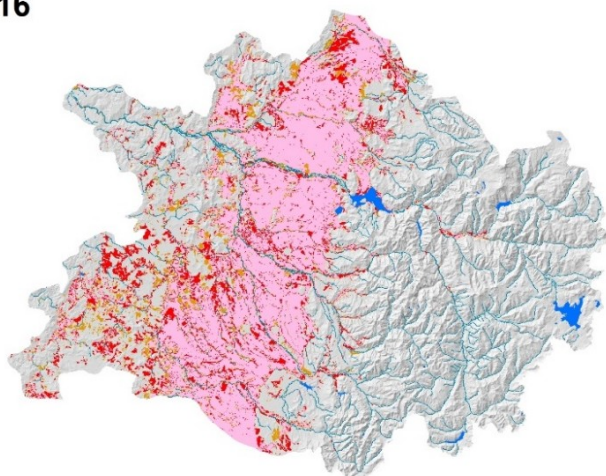


Figura 7. Cambio de uso en las tres coberturas analizadas en la cuenca de río Maule. En la figura superior se muestran los cambios en el uso de suelo agrícola, en la figura del medio se presentan los cambios en las plantaciones forestales y finalmente en la figura inferior, los cambios en el uso de suelo urbano. El color rojo corresponde a expansión y el naranja a pérdida por cambio a otros usos.

3.2.3.-Fragmentación por ecosistema

Los resultados de la aplicación de las métricas de paisaje dan cuenta del proceso de pérdida y fragmentación que han sufrido los ecosistemas en la cuenca del río Maule. Donde ha disminuido en los últimos 20 años, el tamaño promedio de los fragmentos de vegetación nativa ha aumentado el número, esto es más acentuado en los ecosistemas costero e interior.

Tabla 17. Métricas de paisaje, tamaño, número y desviación de fragmentos cuenca del río Maule.

	Tamaño promedio de fragmento		Número de fragmentos		Desviación estándar tamaño fragmento	
	1995	2016	1995	2016	1995	2016
Bosque Caducifolio andino	209	59	1070	4227	3775	2291
Bosque Caducifolio costero	203	8	172	2921	702	62
Bosque Esclerófilo	285	17	659	8205	1484	236
Bosque Espinoso interior	566	24	358	6395	6196	501
Herbazal andino	1924	1928	27	27	2723	2727
Matorral andino	2246	100	251	5441	34463	6680

Las métricas de borde permiten identificar el proceso de fragmentación en ecosistemas que no muestran el cambio del tamaño y número de fragmento tan claramente, como es el caso del Bosque Caducifolio andino y del Bosque Esclerófilo. Aumentando para todos los ecosistemas el área y densidad de borde y disminuyendo el valor promedio de borde por fragmento con la excepción del Herbazal andino. Como ya se mencionó esto se debe a la definición de este ecosistema en la nueva versión del catastro.

Tabla 18. Métricas de paisaje relacionadas al borde de los fragmentos cuenca del río Maule.

	Bordes totales		Densidad de bordes		Promedio de borde por fragmento	
	1995	2016	1995	2016	1995	2016
Bosque Caducifolio andino	5520462	9604922	4.36	8.27	5159	2272
Bosque Caducifolio costero	1567669	2867631	1.24	2.47	9114	982
Bosque Esclerófilo	6612419	10997956	5.23	9.46	10034	1340
Bosque Espinoso interior	4809482	9097733	3.80	7.83	13434	1423
Herbazal andino	1161845	1159604	0.92	1.00	43031	42948
Matorral andino	4847002	8659556	3.83	7.45	19311	1592

El índice de forma (Tabla 19) no presenta grandes diferencias entre los dos tiempos, lo que sí aumenta es la relación promedio perímetro-área, esto estaría dando cuenta de que el proceso de fragmentación se ha mantenido constante independiente del ecosistema. Finalmente, en la tabla 20 se evalúa la conectividad en cada ecosistema, donde se observa un aumento en las conexiones (mayor número de fragmentos), lo que lleva a un menor índice de conectividad total de cada ecosistema, con excepción del Bosque Caducifolio andino.

Tabla 19. Métricas de paisaje relacionadas a la forma de los fragmentos cuenca del río Maule.

	Índice promedio de forma		Relación promedio perímetro-área	
	1995	2016	1995	2016
Bosque Caducifolio	2.01	2.42	869	8954
Bosque Esclerófilo	2.09	2.14	2886	8093
Bosque Esclerófilo andino	2.00	2.36	906	4303
Bosque Espinoso costero	2.04	2.19	980	8209
Bosque Espinoso interior	1.80	2.28	530	3801
Herbazal andino	1.96	2.02	23285	16319
Matorral andino	2.64	1.96	127531	5910
Matorral Esclerófilo	1.98	2.25	11441	3498

Tabla 20. Métricas de conectividad en la cuenca del río Maule.

Categoría	Número de conexiones		Número de componentes		Conectividad equivalente	
	1995	2016	1995	2016	1995	2016
Bosque Caducifolio Andino	2976	14647	385	561	0.12	0.15
Bosque Caducifolio Costero	34	14312	140	51	0.96	0.43
Bosque Esclerófilo	291	9464	486	771	0.39	0.22
Bosque Espinoso Interior	135	6302	266	548	0.11	0.04

3.3.-Análisis de ecosistemas específicos

Los resultados del análisis de ecosistemas específicos son presentados en las tablas 21 y 22 para los ecosistemas boscosos riparianos de las cuencas de los ríos Maipo y Maule. En las tablas 23 y 24 se muestran los resultados para los bosques de cabecera de cuenca. En la figura 8 se presenta la distribución espacial de ambos ecosistemas. Los resultados indican una disminución general de la vegetación ripariana dentro de ecosistemas boscosos en ambas cuencas, como también en la zona andina. Las diferencias negativas entre los dos periodos indicarían un aumento en la superficie y estaría más relacionada al cambio en la definición de bosque, que es lo que se identifica en los Bosques Esclerófilos de la cuenca del río Maipo y en el Bosque Caducifolio andino en la cuenca del río Maule. La mayor cantidad de presencia del ecosistema de vegetación boscosa ripariana, se da en la zona baja de la cuenca para el caso del río Maipo, asociada a la presencia de Bosque Espinoso costero y en el caso de la cuenca del río Maule, asociada al Bosque Esclerófilo en la zona interior del tributario principal de la cuenca (Figura 8).

Tabla 21. Cuenca del río Maipo. Superficie (hectáreas) de vegetación ripariana por ecosistema.

Maipo			
Categoría	1995	2016	Diferencia
Bosque Espinoso interior	2620	2319	-301
Bosque Espinoso costero	2531	2274	-257
Matorral Esclerófilo	9048	7045	-2003
Bosque Esclerófilo	9598	10940	1342
Bosque Esclerófilo andino	5150	4286	-864
Matorral andino	10125	9749	-376
Herbazal andino	17127	15691	-1436
Bosque Caducifolio	322	332	11

Tabla 22. Cuenca del río Maule. Superficie (hectáreas) de vegetación ripariana por ecosistema.

Maule			
Categoría	1995	2016	Diferencia
Bosque Esclerófilo	30792	29929	-863
Bosque Espinoso interior	20500	19217	-1283
Herbazal andino	1036	1036	0
Matorral andino	57652	55709	-1943
Bosque Caducifolio andino	27062	30778	3716
Bosque Caducifolio costero	2845	2880	35

Los resultados del análisis de las áreas identificadas como bosques de cabecera de cuenca dan cuenta de los ecosistemas donde se encuentra en mayor superficie y del cambio que ha tenido en los periodos de tiempo. En el caso de la cuenca del Maipo, estas áreas se identifican tanto en la cordillera de la costa como en la zona precordillerana de Los Andes, concentrándose frente a Santiago y en la entrada del Cajón del Maipo (Figura 8). En el caso de la cuenca del Maipo, la mayor superficie se encuentra en el Bosque Esclerófilo (15.813 ha) y en el Bosque Esclerófilo andino (15.426 ha). Las áreas con mayor pendiente se presentan en estos mismos ecosistemas con una superficie mucho menor y además se identifica alguna superficie en el ecosistema de Bosque Caducifolio en la cordillera de la costa (31 ha). En términos de la variación en la superficie, se observa una disminución en todos los ecosistemas y en ambos rangos de pendiente. El único caso que difiere con este patrón es el Bosque Caducifolio tanto costero como andino presente en la cuenca del Maule. Esta diferencia positiva, podría estar relacionada a la diferencia en la resolución espacial entre el catastro original y la versión más actualizada. Al ser la última versión realizada con segmentación de imágenes satelitales, se puede identificar fragmentos de vegetación mucho más pequeños. Los cuales son más abundantes en la fecha más reciente producto del proceso constante de fragmentación de la vegetación natural producto de la intervención antrópica.

Tabla 23. Cuenca del río Maipo. Superficie (hectáreas) de Bosque de cabecera de cuenca por ecosistema.

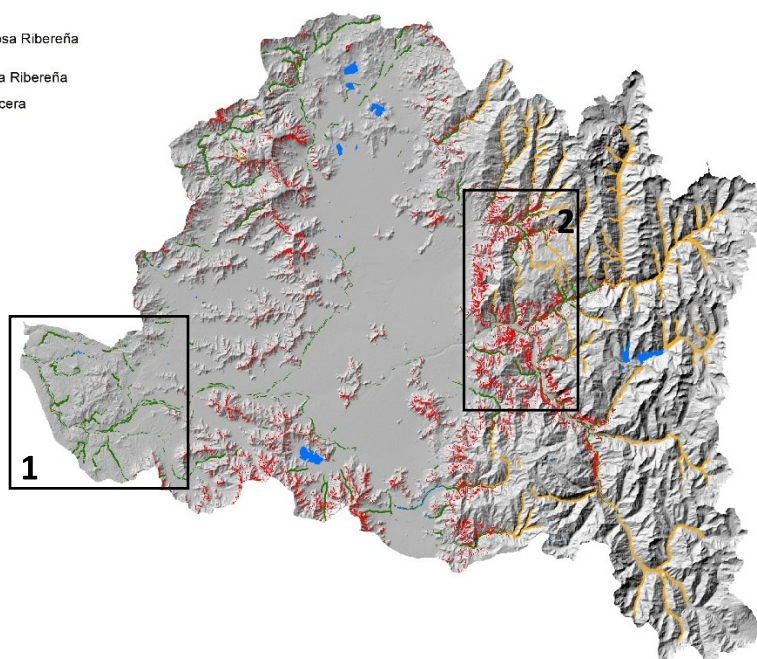
Categoría	Maipo			
	1995	2016	1995	2016
	Pendiente >30		Pendiente >45	
Bosque Espinoso interior	1529	1400	0	0
Bosque Espinoso costero	18	17	0	0
Bosque Esclerófilo	18424	15813	72	53
Bosque Esclerófilo andino	15630	15426	354	199
Bosque Caducifolio	5882	5564	41	31

Tabla 24. Cuenca del río Maule. Superficie (hectáreas) de Bosque de cabecera de cuenca por ecosistema.

Categoría	Maule			
	1995	2016	1995	2016
	Pendiente >30		Pendiente >45	
Bosque Esclerófilo	1023	831	0	0
Bosque Espinoso interior	120	118	0	0
Bosque Caducifolio andino	29683	33626	928	705
Bosque Caducifolio costero	23	45	0	0

Ecosistemas Específicos

- Vegetación Boscosa Ribereña
- Vegetación Andina Ribereña
- Bosques de cabecera de cuenca
- Cuerpos de Agua



Ecosistemas Específicos

- Vegetación Boscosa Ribereña
- Vegetación Andina Ribereña
- Bosques de cabecera de cuenca
- Cuerpos de Agua

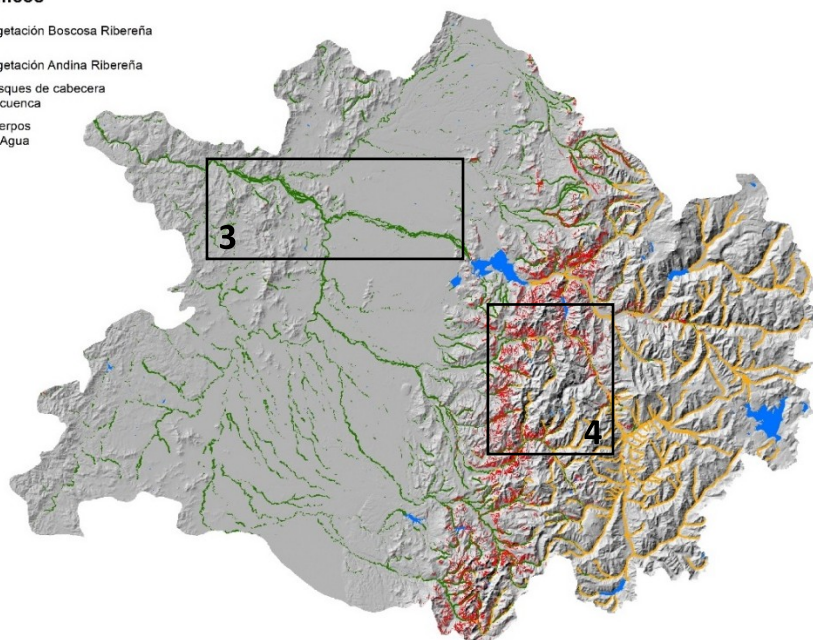


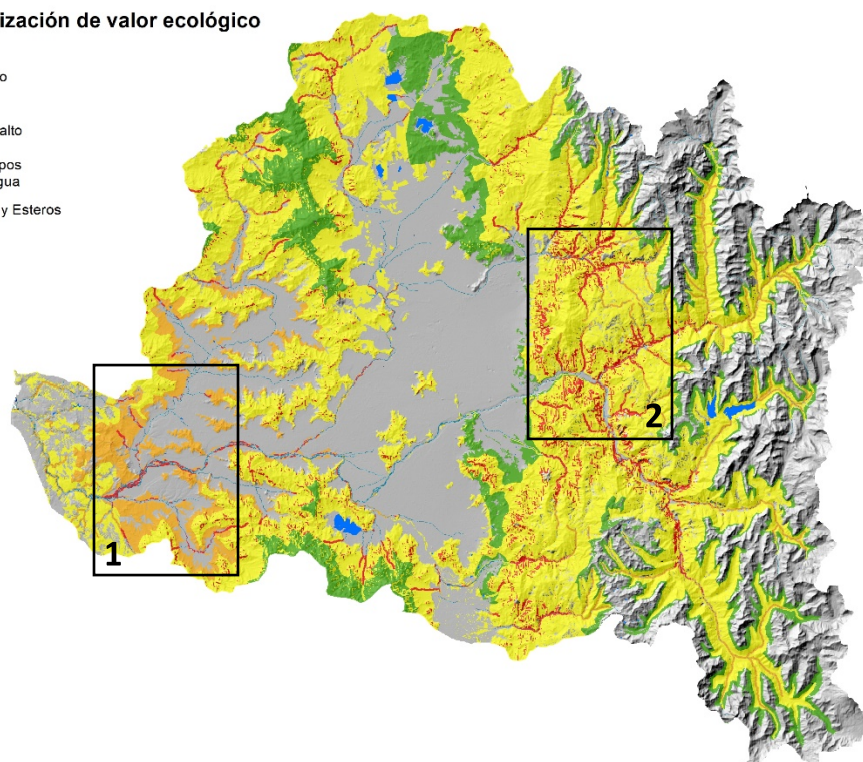
Figura 8. Distribución de los ecosistemas específicos analizados. En color verde se muestra la vegetación boscosa ripariana, en color rojo los fragmentos de bosque de cabecera de cuenca y en naranja la vegetación ripariana andina. Figura superior muestra la cuenca del río Maipo, con las áreas de concentración de vegetación ripariana (cuadro 1) y bosques de cabecera (cuadro 2). En la figura inferior, se muestra la cuenca del río Maule, con las áreas de vegetación ripariana (cuadros 3) y de bosques de cabecera (cuadro 4).

3.4.-Áreas de mayor valor ecológico

Las áreas de mayor valor ecológico identificadas se presentan en la figura 10 para ambas cuencas de estudio. Las zonas de mayor valor se distribuyen asociadas a la vegetación boscosa ripariana y a las áreas boscosas de cabecera de cuenca. En el caso de la cuenca del río Maipo, estas áreas se presentan en la zona baja de la cuenca, asociadas al ecosistema de Bosque Espinoso costero, matorral y Bosque Esclerófilo en la comuna de Melipilla, y en la precordillera andina, asociadas al Bosque Esclerófilo y Bosque Esclerófilo andino, en las comunas precordilleranas de Santiago y San José de Maipo (Figura 9). En la cuenca del río Maule, el mayor valor se concentra preferentemente en la vegetación ripariana boscosa de la zona costera e interior, asociadas a los ecosistemas de Bosque Caducifolio costero en la parte más baja de la cuenca, al Bosque Espinoso Interior y al Bosque Esclerófilo, en las comunas de Constitución y Talca, también se identifican zonas de alto valor ecológico en la precordillera de las comunas de Colbún y San Clemente (Figura 9). Los valores ecológicos más bajos se relacionan a las zonas altas sin presencia de ecosistemas boscosos (Matorral y Herbazal andino), presentes tanto en la cordillera de la costa como en la zona andina en el caso del río Maipo y, preferentemente, en la zona andina de la cuenca del río Maule. Además, en la cuenca del río Maipo, se identifican áreas de menor valor ecológico en la zona norte del Bosque Espinoso interior. En general se puede reconocer un patrón altitudinal en la distribución del valor ecológico, siendo mayor en zonas bajas, las cuales están más expuestas a los procesos de fragmentación y pérdida de la vegetación natural de los ecosistemas. A partir de estos resultados, se pueden diferenciar las potenciales medidas sobre el territorio separando entre acciones de conservación (resguardar el patrimonio natural existente) y de restauración (ayudar a la recuperación de los ecosistemas que han sido degradados, dañados o destruidos). A partir de estos conceptos las áreas identificadas como de alto valor en las zonas bajas con vegetación ripariana de las cuencas del Maipo y del Maule deberían ser conservadas, ya que dan cuenta de un tipo de vegetación clave para el mantenimiento de los procesos ecológicos de la cuenca y son fragmentos que se han mantenido a pesar de la expansión agrícola, forestal y urbana. Por otra parte, las vegetaciones boscosas de cabecera de cuencas en las zonas de mayor pendiente en ambas cuencas, tanto en la cordillera de la costa como en la de Los Andes, podrían ser zonas donde se realicen acciones de restauración y rehabilitación de los ecosistemas. En las zonas costeras, los escasos fragmentos remanentes podrían ser zonas núcleos para proyectos de restauración, mientras que en la precordillera de Los Andes donde existe más disponibilidad de zonas boscosas de cabecera de cuenca, se podrían rehabilitar las zonas contiguas que han sido perturbadas.

Categorización de valor ecológico

- Bajo
- Medio
- Alto
- Muy alto
- Cuerpos de Agua
- Ríos y Esteros



Categorización de valor ecológico

- Bajo
- Medio
- Alto
- Muy alto
- Cuerpos de Agua
- Ríos y Esteros

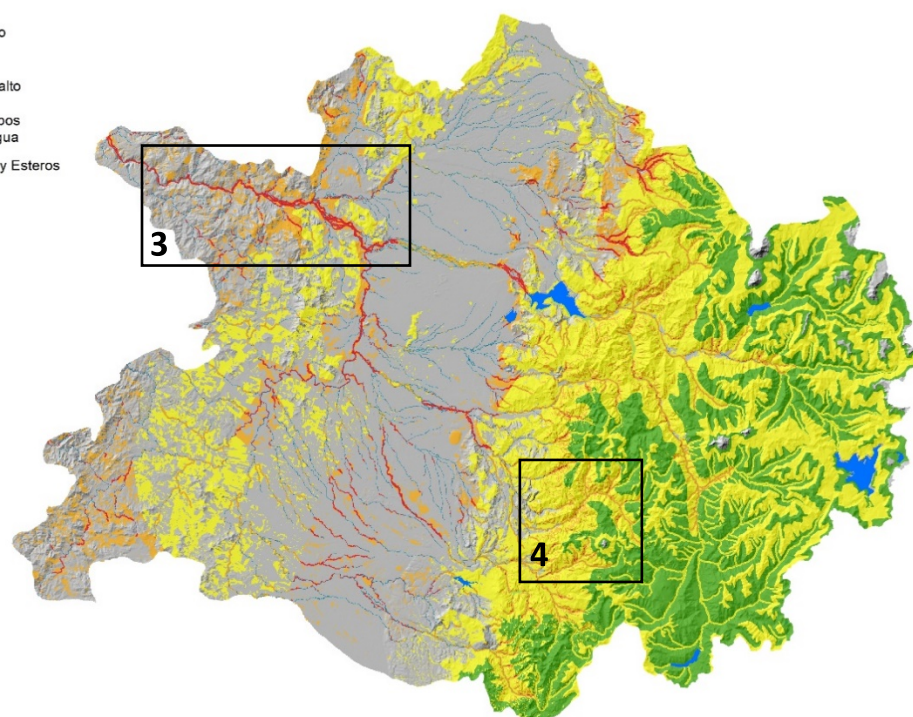


Figura 9. Categorización del valor ecológico. Zonas con muy alto valor se presentan en color rojo, alto valor color naranja, valor medio amarillo y bajo valor color verde. Figura superior, cuenca del río Maipo, con las áreas donde se concentra el alto valor para la vegetación boscosa ripariana (cuadro 1) y bosque de cabecera de cuenca (cuadro 2). Figura inferior, Cuenca del río Maule, zonas de concentración de alto valor para la vegetación boscosa ripariana (cuadro 3) y bosque de cabecera de cuenca (cuadro 4).

4.-Identificación de brechas de información

Las principales brechas de información asociadas al enfoque metodológico utilizado se relacionan a las diferencias de resolución espacial entre las dos fuentes de datos obtenidas del Catastro de los recursos vegetacionales nativos. La metodología original del Catastro presenta una unidad mínima de 6,25 hectáreas (62.500 metros cuadrados) mientras que en la versión actualizada (2016) posee polígonos de hasta menos de 100 metros cuadrados de resolución. Esto genera una diferencia en las superficies totales de las distintas coberturas de uso de suelo y por lo tanto de los ecosistemas definidos. Aunque en la comparación de las áreas totales por cobertura de uso de suelo o por ecosistemas no se marca esta diferencia, al analizar en términos de métricas de paisaje sí queda esto de manifiesto. Ya que la disminución de los tamaños de los fragmentos de vegetación nativa está directamente influenciada por esto. El otro punto relevante es el cambio en la metodología para la definición de cobertura de bosque en el Catastro. Al asumir como Bosques polígonos con menor cobertura que en la definición original, aumentó la superficie, especialmente en los ecosistemas de Bosque Esclerófilo y el Bosque Espinoso, ya que son estos ecosistemas los que poseen una dominancia de especies arbóreas con baja cobertura ya sea por su estructura original (Bosque Espinoso) o por el efecto de la perturbación antrópica en el caso del Bosque Esclerófilo. Este efecto se evaluó comparando la versión más actualizada del catastro con una cobertura de uso de suelo independiente, por lo que se pudo corroborar que las áreas adicionadas por el cambio de cobertura sí corresponden a zonas boscosas, esto queda más claro en los bosques que forman el límite arbóreo tanto en la cordillera de la Costa como en la cordillera de Los Andes.

5.-Recomendaciones

La aproximación metodológica presentada permite analizar los cambios temporales en una ventana de tiempo de aproximadamente 20 años y caracterizar el valor ecológico al cruzar los resultados del cambio de cobertura con distintos criterios de importancia biológica y de conservación. Un enfoque complementario al presentado sería la evaluación del cambio temporal mediante clasificación de imágenes satelitales, aunque el Catastro CONAF es también un producto de este enfoque (especialmente la versión más actualizada); se realizaron además distintas etapas de interpretación y validación de los datos, lo que le da al Catastro un valor muy relevante más allá de los errores en la cuantificación de algunas coberturas que se han identificado (Miranda *et al.*, 2017). El análisis de cambio temporal de imágenes satelitales ha sido realizado a distintas resoluciones espaciales y temporales para Chile (Echeverría *et al.*, 2006; Altamirano *et al.*, 2010; Schulz *et al.*, 2010; Miranda *et al.*, 2015), pero posee la dificultad de que, aunque se puede alcanzar un detalle espacial muy alto, la validación de los resultados en terreno es muy complejo y costoso. Por ejemplo, los trabajos de comparación temporal más completos realizados en Chile (Schulz *et al.*, 2010; Heilmayr *et al.*, 2016), han sido comparados con el mismo Catastro CONAF y han usado las mismas categorías de uso de suelo. Una aproximación metodológica que podría complementar los análisis temporales aquí presentados son los modelos de cambio de uso de suelo, que permite generar escenarios en distintas escalas temporales a partir de reglas de cambio de las distintas coberturas de uso de suelo (Manusevich & Beier, 2016). Este enfoque podría ser complementario y permitiría ampliar las ventanas temporales, tanto hacia el pasado como al futuro. Finalmente, un tema relevante es la actualización del Catastro de los recursos vegetacionales nativos. En este estudio se ha mostrado su utilidad como herramienta para evaluar el estado de los ecosistemas terrestres, pero este tipo de estudios no es replicable para todo el país con las mismas fuentes de información ya que el Catastro se ha actualizado con distintas frecuencias y metodologías según las regiones del país. Es así como en la zona centro sur existen, además de actualizaciones en los últimos diez años, monitoreos de cambio de uso con frecuencia anual. Esto permite realizar este tipo de análisis, pero en otras zonas del país, especialmente las regiones del extremo norte, no es posible contar ni siquiera con actualizaciones desde la primera versión presentada el año 1997.

6.-Conclusiones

Los resultados obtenidos permiten caracterizar los cambios temporales en los últimos 20 años en las cuencas de los ríos Maipo y Maule. Estos cambios se pueden caracterizar a partir de los patrones de pérdida y fragmentación. El patrón más relevante identificado es la disminución de la superficie de los ecosistemas en los últimos 20 años, manteniendo una dirección de cambio histórica, asociada preferentemente a la expansión urbana en la cuenca del Maipo (3,8% del área total de la cuenca) y la expansión forestal en la cuenca del Maule (9,8% del área total de la cuenca). Se identifican ecosistemas que han perdido más del 20% de su cobertura en la cuenca (Bosque Espinoso costero, 3.394 hectáreas) en la cuenca del Maipo y con más de un 35% en la cuenca del Maule (Bosque Caducifolio costero 12.803 hectáreas). Los ecosistemas que han sufrido un mayor proceso de pérdida y fragmentación son los Bosques Esclerófilos y Espinosos, presentes en las zonas bajas e interiores de las cuencas. Cuando se analiza la dinámica de cambio en los usos de suelo antrópicos (agricultura, plantaciones forestales y zonas urbanas/industriales), en la cuenca del río Maipo, se observa una expansión de las zonas urbanas de Santiago y de sus áreas periurbanas, sobre usos de suelo agrícolas, con comunas como Calera de Tango que se ha expandido en un 30% (2.219 hectáreas). Además, se identifica una expansión de menor extensión sobre ecosistemas en la zona norte de la región metropolitana, en la zona costera de la cuenca (comuna de María Pinto y San Pedro). También es relevante el avance de las zonas urbanas en la precordillera de Santiago, con comunas como Peñalolén y Puente Alto que se han extendido con más de 2.300 y 3.800 hectáreas, respectivamente, sobre zonas de Bosque Espinoso y Bosque Esclerófilo. El cambio de uso de suelo antrópico en la cuenca del río Maule, presenta sus mayores variaciones en la superficie de plantaciones forestales, las que se han expandido en más de un 20% en las comunas ubicadas en la cordillera de la Costa, transformando ecosistemas de Bosque Espinoso y Caducifolio costero preferentemente. Este es el caso de Quirihue 33,4% (11.668 hectáreas) y Cauquenes 27,9% (50.340 hectáreas). Al combinar estos patrones con criterios de valoración biológica y de protección, es posible identificar las áreas con mayor valor, las que se encuentran asociadas a los ecosistemas de zonas bajas (matorral Esclerófilo en el Maipo y Bosque Caducifolio costero en el Maule), vegetación boscosa ripariana de zonas bajas e interiores y bosque de cabecera de cuenca presentes en ecosistemas de Bosque Esclerófilo andino en el río Maipo. Esta valoración puede ser utilizada como una señalización territorial para identificar zonas de mayor sensibilidad y vulnerabilidad al impacto de la acción humana sobre el territorio. Así como también, definir áreas de restauración para recuperar ecosistemas degradados y disminuir de esta forma el proceso en curso de pérdida y fragmentación de los ecosistemas.

7.-Bibliografía

- Altamirano, A., & Lara, A. (2010). Deforestation in temperate ecosystems of pre- Andean range of south-central Chile. *Bosque*, 31,53-64.
- Bland, L.M., Keith, D.A., Miller, R.M., Murray, N.J. and Rodríguez, J.P. (eds.) (2016). Directrices para la aplicación de las Categorías y Criterios de la Lista Roja de Ecosistemas de UICN, Versión 1.0. Gland, Suiza. 96 pp.
- Buchhorn, M. Lesiv, M. Tsendbazar, N. E. Herold, M. Bertels, L. Smets, B. (2020). Copernicus Global Land Cover Layers—Collection 2. *Remote Sensing* 12(108), 1044.
- CONAF, & CONAMA-BIRF. (1995). Manual de Terreno. Proyecto Catastro Y Evaluación de Los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile (Santiago).
- CONAF, CONAMA, & BIRF. (1999). Catastro Y Evaluación de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile.
- CONAF (2017). Monitoreo de Cambio de uso de tierra 2013-2016, regiones V. RM, VI, VII.
- Manuschevich, D., Beier, C.M. (2016). Simulating land use changes under alternative policy scenarios for conservation of native forests in south-central Chile. *Land use policy* 51, 350-362.
- Diamond, J.M. (1975). The island dilemma: lessons of modern biogeographic studies for the design of natural reserves. *Biological Conservation*, 7,129-146.
- Díaz, S., Settele, J., Brondizio, E.S., Ngo, H.T., Agard, J., Arnet, A., Balvanera, P., Brauman, K.A., Butchart, S.H.M., Chan, K.M.A., Garibaldi, L.A., Ichii, K., Liu, J., Subramanian, S.M., Midgley, G.F., Miloslavich, P., Molnár, Z., Obura, D.O., Pfaff, A., Polasky, S., Purvis, A., Razzaque, J., Reyers, B., Chowdhury, R.R., Shin, Y.-J., Visseren-Hamakers, I., Willis, K., Zayas, C.N., 2019. Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need for transformative change. *Science* 366:1327eaax3100.
- 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, 481-494.
- ESRI. (2018). ArcGIS desktop: Version 10.8 Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- Heilmayr, R., Echeverría, C., Fuentes, R. & Lambin, E.F, (2016). A plantation-dominated forest transition in Chile. *Applied Geography*, 75, 71–82.

- Luebert, F. & Plischoff, P. (2017). Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. Segunda Edición. Editorial Universitaria, Santiago, Chile.
- McGarigal, K., Cushman, S.A., Neel, M.C. & Ene, E. (2002). FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for categorical maps. <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>
- Miranda, A., Altamirano, A., Cayuela, L., Pincheira, F. & Lara, A. (2015). Different times, same Story: Native forest loss and landscape homogenization in three physiographical areas of south-central of Chile. *Applied Geography*, 60, 20-28.
- Miranda, A., Altamirano, A., Cayuela, L., Lara, A. & González, M. (2017). Native forest loss in the Chilean biodiversity hotspot: revealing the evidence. *Regional Environmental Change*, 285-297.
- Pellet, P., Ugarte, E., Osorio, E. & Herrera, F. (2005). Conservación de la biodiversidad en Chile, ¿Legalmente suficiente? La necesidad de cartografiar la ley antes de decidir. *Revista Chilena de Historia Natural* 78: 125-14.
- Plischoff, P., Folchi, M., Aliste, E., Cea, D., Simonetti, J.A. (2020). Chile mega-fire 2017: An analysis of social representation of forest plantation territory. *Applied Geography*, 119, 102226.
- Plischoff, P. (2015). Aplicación de los criterios de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) para la evaluación de riesgo de los ecosistemas terrestres de Chile. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile.
- Plischoff, P., & T., Fuentes-castillo. (2011). Representativeness of terrestrial ecosystems in Chile's protected area system. *Environmental Conservation*, 38, 303–311.
- Romero, F. I., Cozano, M. A., Gangas, R. A., & Naulin, P. I. (2014). Zonas ribereñas: protección, restauración y contexto legal en Chile. *Bosque*, 3-12.
- Saura, S., & Torné, J. (2009). Conefor Sensinode 2.2: A software package for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity. *Environmental Modelling & Software*, 24, 135–139.
- Schulz, J. J., Cayuela, L., Echeverria, C., Salas, J. & Benayas, J. M. R. (2010). Monitoring land cover change of the dryland forest landscape of Central Chile (1975-2008). *Applied Geography*, 30, 436-447.

8.-Anexo

Información espacial entregada en formato shapefile de ESRI. Todas las coberturas corresponden a formato vectorial y se encuentran en el sistema de coordenadas WGS84 UTM19S.

Categorías_Cuenca_Maipo_1995.shp: Clasificación de ecosistemas junto a la cobertura de uso de suelo para la cuenca del río Maipo, primer periodo de análisis, año 1995.

Categorías_Cuenca_Maule_1995.shp: Clasificación de ecosistemas junto a la cobertura de uso de suelo para la cuenca del río Maule, primer periodo de análisis, año 1995.

Categorías_Cuenca_Maipo_2016.shp: Clasificación de ecosistemas junto a la cobertura de uso de suelo para la cuenca del río Maipo, primer periodo de análisis, año 2016.

Categorías_Cuenca_Maule_2016.shp: Clasificación de ecosistemas junto a la cobertura de uso de suelo para la cuenca del río Maule, primer periodo de análisis, año 2016.

Cambio_uso_suelo_Maipo.shp: Cambio de uso de suelo (1995-2016) para la cuenca del río Maipo para tres coberturas (agrícola, forestal, urbano).

Cambio_uso_suelo_Maule.shp: Cambio de uso de suelo (1995-2016) para la cuenca del río Maule para tres coberturas (agrícola, forestal, urbano).

Ecosistemas_especificos_Maipo_1995.shp: Distribución de los ecosistemas específicos analizados (vegetación ripariana y bosques de cabeceras de cuenca) para la cuenca del río Maipo, primer periodo de análisis, año 1995.

Ecosistemas_especificos_Maule_1995.shp: Distribución de los ecosistemas específicos analizados (vegetación ripariana y bosques de cabeceras de cuenca) para la cuenca del río Maipo, primer periodo de análisis, año 1995.

Ecosistemas_especificos_Maipo_2016.shp: Distribución de los ecosistemas específicos analizados (vegetación ripariana y bosques de cabeceras de cuenca) para la cuenca del río Maipo, primer periodo de análisis, año 1995.

Ecosistemas_especificos_Maule_2016.shp: Distribución de los ecosistemas específicos analizados (vegetación ripariana y bosques de cabeceras de cuenca) para la cuenca del río Maipo, primer periodo de análisis, año 1995.

Criterios_Valor_Ecologico_Maipo.shp: Cobertura de ecosistemas (Pisos de vegetación) para la cuenca del río Maipo, con las categorizaciones para cada uno de los cinco criterios definidos (riesgo, protección, azonal, flora y fauna).

Criterios_Valor_Ecologico_Maule.shp: Cobertura de ecosistemas (Pisos de vegetación) para la cuenca del río Maule, con las categorizaciones para cada uno de los cinco criterios definidos (riesgo, protección, azonal, flora y fauna).

Valor_Ecologico_Maipo.shp: Clasificación final con la categorización de valor ecológico para los ecosistemas identificados en la cuenca del río Maipo.

Valor_Ecologico_Maule.shp: Clasificación final con la categorización de valor ecológico para los ecosistemas identificados en la cuenca del río Maule.