

Forest plantations and its extension towards urban areas in metropolitan Valparaíso and associations with the increase of wildfires

Plantaciones forestales y su extensión hacia áreas urbanas en el área metropolitana de Valparaíso y su relación con el aumento de incendios forestales

Vannia Ruiz^{1,2}, Juan Munizaga², Alejandro Salazar Burrows³

Resumen

A partir de la década de los 70 en Chile central, la expansión de las plantaciones forestales ha sido una de las principales causas de la modificación del paisaje, siendo influenciada por los cambios de cobertura de la superficie terrestre. Considerando el contexto nacional de los incendios forestales que ocurrieron durante el verano de 2017, existe una opinión generalizada que la ocurrencia de estos eventos está relacionada con la proximidad y el acercamiento de las plantaciones a las áreas urbanas, especialmente en el Área Metropolitana de Valparaíso (AMV). Desde esta perspectiva se analizó la disminución de la distancia entre la expansión de las plantaciones forestales y la expansión del suelo urbano en el AMV utilizando una clasificación supervisada de imágenes Landsat para los años 1989 y 2015. Adicionalmente se realiza un análisis sobre el grado de severidad de los incendios y se calculan métricas del paisaje por medio del programa FRAGSTATS. Los principales resultados muestran un aumento de superficie para las plantaciones forestales para el año 2015, duplicando su tamaño con respecto al 1989. A partir de las métricas estudiadas se observó una mayor heterogeneidad en el paisaje. Con respecto al índice de severidad se observa un mayor grado en plantaciones forestales con respecto a otras coberturas como agricultura o matorral espinoso.

Palabras clave: Plantación forestal, Coberturas de suelo, áreas metropolitanas.

Abstract

Since the 70s in central Chile, the expansion of forest plantations has been one of the main causes of landscape modification, being influenced by changes in land cover. Considering the national context of the forest fires that occurred during the summer of 2017, there is a generalized opinion that the occurrence of these events is related to the proximity and approach of the plantations to urban areas, especially in the Valparaíso Metropolitan Area (AMV). From this perspective, the decrease in the distance between the expansion of forest plantations and the expansion of urban land in the AMV was analyzed using a supervised classification of Landsat images for the years 1989 and 2015. Additionally, an analysis is made of the degree of severity of fires and landscape metrics are calculated through the FRAGSTATS program. The main results show an increase in area for forest plantations for the year 2015, doubling its size compared to 1989. From the metrics studied a greater heterogeneity was observed in the landscape. With regard to the severity index, a greater degree is observed in forest plantations with respect to other coverings such as agriculture or shrublands.

Key words: Forest plantations, Land cover, Metropolitan areas.

Recibido el 03 de julio de 2017, aceptado el 27 de octubre de 2017.

1 Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile. Instituto de Geografía de Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile. Av. Vicuña Mackenna #4860, Macul, Región Metropolitana, Chile. Email: vruizb@uc.cl

2 Universidad de Concepción, Departamento de Geografía.

3 Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile. Instituto de Geografía.

Introducción

Los paisajes se encuentran constantemente sometidos a cambios, estos pueden ser naturales o por intervención antrópica y tienen diversos efectos sobre el ecosistema, como la disminución de superficie, cambios en la conectividad, fragmentación, homogenización, entre otros (Forman, 1995; Dorresteijn et al., 2015). Actualmente, uno de los principales agentes de amenaza para la viabilidad de los ecosistemas nativos y sus especies, es la pérdida y fragmentación del hábitat (Kuussaari et al., 2009). Estos procesos, no solo generan un impacto negativo sobre el componente biótico, sino que puede desencadenar cambios en los componentes abióticos como; la temperatura, los vientos y la humedad de los ecosistemas (Murcia, 1995). En zonas mediterráneas, la modificación y fragmentación del paisaje se ha visto favorecida principalmente por la explotación extensiva e intensiva de los recursos naturales especialmente por la actividad agrícola y expansión del suelo urbano y el retroceso sostenido de los bosques nativos (Castillo, Rodríguez y Silva y Molina, 2009; Fuente de Val, Atauri Mezquida, y Lucio Fernández, 2004).

Otro factor que modifica los procesos y patrones del paisaje, se encuentran ligados a la ocurrencia de incendios forestales, para lo cual es relevante considerar el contexto socio-económico presente en el territorio afectado (Altamirano, Salas, Yaitul, Smith-Ramírez y Ávila, 2013a), los que pueden ser estudiados espacial y temporalmente (Coppin, Jonckheere, Nackaerts, Muys y Lambin, 2004). Los incendios forestales en las zonas mediterráneas a nivel general, actúan como un agente modificador del paisaje (Moritz et al., 2014), y surgen en gran medida como una consecuencia de la actividad humana (Castillo et al., 2009). En

este contexto, la distancia a las ciudades se asocia negativamente con la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales, mostrando la fuerte influencia que tienen las actividades humanas en la ocurrencia de incendios, por ejemplo, de Chile central (Altamirano et al., 2013a).

La predicción de ocurrencia de incendios forestales a escala de paisaje, ha sido un tema que ha tomado importancia en el hemisferio norte (Zhang, Zhang y Zhou, 2010), no así en Sudamérica. Una de las posibles causas para la falta de estudios ligados a esta materia, se relaciona con la carencia de información y la poca accesibilidad a ésta (Castillo, Julio y Quintanilla, 2011).

De los registros a nivel nacional, estos indican que la frecuencia media de incendios forestales, es de aproximadamente 5000 incendios por año, afectando una superficie promedio de 50000 hectáreas al año (Navarro et al., 2008; Corporación Nacional Forestal (CONAF) 2010). La zona central, ha sido la que se ha visto afectada más por la modificación del paisaje y ocurrencia de incendios (32° - 34° S y 74° - 70° O).

Esta zona es considerada como uno de los 34 hotspots de la biodiversidad a nivel mundial, debido a la presencia del ecosistema de tipo mediterráneo (Blondel & Fernández, 2012). Como consecuencia de estos factores, el paisaje presente podría definirse como complejo, en donde la pérdida de las coberturas naturales se encuentra ligada mayoritariamente a la sustitución por coberturas de producción forestal. (Arroyo, Martivorena, Matthei y Cavieres, 2000; Heilmayr, Echeverría, Fuentes y Lambin, 2016; Miranda, Altamirano, Cayuela, Pincheira y Lara, 2015; Montoya-Tangarife, de la Barrera,

Salazar y Inostroza, 2017). Adicionalmente Castillo, Molina, y Silva, García-Chevesich y Garfías (2017) observó para la zona de Valparaíso un promedio de 274 números de incendios entre los años 1998-2012 con una superficie aproximada de 284 hectáreas.

Durante el mes de enero en 2017, se vivió uno de los eventos más catastróficos de incendios forestales vividos en Chile, con un total de 529.794 hectáreas quemadas, a lo largo de cinco regiones administrativas, que abarcaron desde la región de Valparaíso hasta la región del BíoBío, con un total de 91 áreas incendiadas (De la Barrera &

Ruiz, 2017). Estudios que hablan sobre la heterogeneidad del paisaje y ocurrencia de incendios entre las regiones de Valparaíso y Biobío, muestran que áreas con mayor probabilidad de ocurrencia de incendios, son aquellas que concentran una mayor población, infraestructuras y cercanías a caminos principales (Altamirano et al., 2013a). Debido a esto, es que se analizó la disminución de la distancia entre la expansión forestal y el suelo urbano en el AMV, para lo cual se realizó un estudio de paisaje para comprender su estructura y como ésta se relaciona con los incendios forestales ocurridos en enero de 2017.

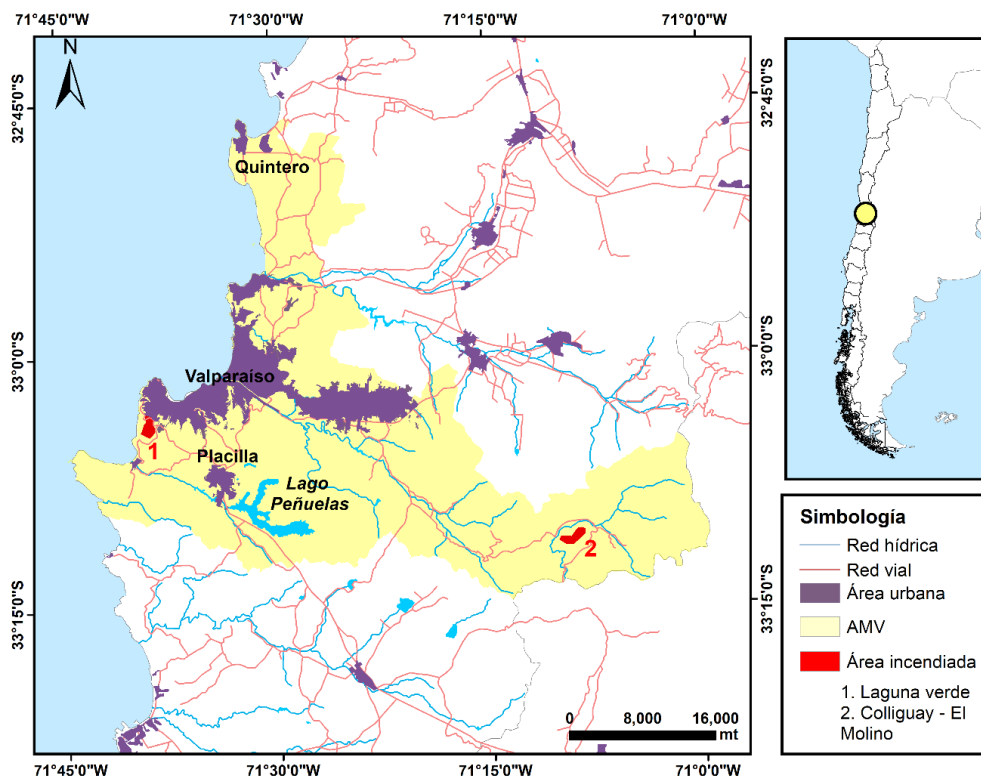


Figura 1. Ubicación del Área Metropolitana de Valparaíso (AMV). Fuente: Elaboración propia (2017)

Figure 1. Localization of de Metropolitan Area of Valparaíso (AMV). Source: Own elaboration (2017)

Materiales y métodos

Área de estudio

El Área Metropolitana de Valparaíso (AMV), se encuentra ubicada entre los 32°45'S - 32°15'S y 71°45'O - 71°0'O (figura 1). Se caracteriza por la presencia de quebradas con alta pendiente, especialmente aquellas cercanas a cursos de agua (Castillo et al., 2009). Esta zona se encuentra dentro del ecosistema mediterráneo de clima templado, con temperaturas que oscilan entre los 17° y 25°, mientras que las precipitaciones en promedio anual llegan a los 400 mm (Biblioteca del Congreso Nacional (BCN) 2017). Con respecto a la vegetación presente en el AMV, de acuerdo a información oficial descrita en el Catastro de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile (CONAF, 2013), se observan principalmente subtipos forestales de Peumo-Quillay-Litre, Esclerófilo, Matorral y Palmares, Además de la presencia de plantaciones forestales. Los antecedentes demográficos entregados por el Instituto Nacional de Estadística (INE), estiman para el año 2012 una población de 1.040.000 habitantes en el AMV, esperando que para el año 2022 esta cifra supere los 1.2 millones de personas (INE, 2012). Cuenta además con uno de los niveles más altos de actividad económica de Chile y con la presencia del puerto más importante del país, junto con importantes centros de turismo.

Adquisición de imágenes satelitales.

Se utilizaron dos imágenes satelitales para los años 1989 y 2015, obtenidas del satélite Landsat, con los sensores TM y OLI-TIRS respectivamente. Con el fin de evitar distorsiones de la reflectividad y nubosidades en las imágenes se decidió

trabajar con el mes de marzo para ambos años.

Pre tratamiento digital de imágenes.

Se trabajó con imágenes Landsat ortorectificadas por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). Una vez descargadas las imágenes satelitales, fueron llevadas a valores de reflectancia o también conocida como calibración radiométrica mediante los parámetros de Chander, Markham y Helder (2009) y parámetros de corrección estipulados según el USGS para Landsat 8. Posteriormente fue aplicada una corrección atmosférica que se trabajó siguiendo la metodología propuesta por Chavez (1988), que consiste en la sustracción de objetos oscuros. Finalmente se realizó una corrección topográfica en base al método de Minnaert, la cual corrige los efectos de la topografía en la reflectancia de la imagen (Riaño, Chuvieco, Salas y Aguado 2003).

Clasificación de imágenes satelitales.

Se realizó una clasificación supervisada, en base a la metodología de Máxima Verosimilitud (Rojas, Vivanco, Opazo, Stefan y Villaroel (2013), incorporando como bandas los índices NDVI para el caso de la vegetación y NDBI, para la clasificación de suelos urbanos. Se tomaron puntos de control en terreno para validar las categorías en la clasificación, posteriormente fueron validadas por medio de una matriz de confusión y el índice Kappa. Para los cuerpos de agua y humedales se trabajó con una digitalización a partir del Catastro Vegetacional de CONAF (2011). Las categorías finales se pueden observar en la tabla 1.

Tabla 1

Clasificación propuesta para las coberturas del suelo. Fuente: Elaborado por los autores basándose en categorías de CONAF (2017)

Table 1

Proposed classification for land cover. Source: Own elaboration based on CONAF (2017)

Código	Usos de suelos
1	Agricultura
2	Urbano
3	Cuerpos de agua continental
4	Humedales
5	Praderas
6	Bosque y matorral esclerófilo
7	Matorral xerofítico
10	Plantación forestal
11	Escasa vegetación
12	Urbano con vegetación

Análisis de áreas incendiadas.

Para la identificación de áreas quemadas se trabajó mediante imágenes satelitales Landsat 8 OLI-TIRS pre (01 enero 2017) y post incendio (25 febrero 2017). Posteriormente se calculó el índice NBR para determinar el grado de severidad, detectando áreas con severidad alta, moderada-alta, moderada-baja, baja, y áreas no quemadas (De la Barrera & Ruiz, 2017). Para el análisis de áreas quemadas según coberturas, se utilizó la imagen clasificada más actual, correspondiente al año 2015, y para la validación de las áreas

quemadas se realizó un trabajo en terreno durante el mes de enero 2017.

Análisis de fragmentación del paisaje.

Las imágenes resultantes de las clasificaciones fueron llevadas al programa FRAGSTAT. Este programa permite conocer la estructura del paisaje, analizando las métricas a nivel de parche, clases y paisaje (tabla 2). Por lo tanto, se escogieron una serie de métricas con la finalidad de medir el grado de homogenización y/o fragmentación poniendo énfasis en los usos de plantaciones forestales y urbanización.

Tabla 2

Métricas seleccionadas para el análisis del paisaje en el Área Metropolitana de Valparaíso. Fuente: Elaborado a partir del trabajo escrito por los autores según McGarigal and Marks (1994)

Table 2

Selected measures for landscape analysis in the Metropolitan Area of Valparaíso. Source: Own elaboration (2017) based on McGarigal and Marks (1994)

Métricas	Descripción
Numero de parches (NP)	Es el número de parches dentro de un paisaje.
Índice del parche más grande (LPI)	Es el porcentaje del paisaje comprendido por el parche más grande.
Área total de núcleo (TCA)	Es la suma total de las áreas núcleos a nivel de clase.
Densidad de Riqueza de Parches (PRD)	Representa el número de parches presente dentro de un paisaje estandarizando la riqueza al área del paisaje lo que facilita la comparación entre paisajes.
Índice de diversidad de Shannon (SHDI)	Es una medida de diversidad aplicada al paisaje. Este indicador tiene una mayor sensibilidad a los parches raros.
Índice de diversidad de Simpson (SIDI)	Una medida de diversidad en el paisaje, sin embargo, tiene una menor sensibilidad a los parches raros.
Índice de agregación (AI)	Mide el nivel de agregación de los parches entre 0 a 100.
Área total (CA)	Área total por clase.
Distancia euclidiana al vecino más próximo (ENN_MN)	Distancia media en línea recta al parche vecino más cercano de la misma clase.
Índice de agregación (AI)	Mide el nivel de agregación de los parches de una misma clase entre 0 a 100.

Resultados

Análisis en base a la clasificación supervisada

El índice kappa obtuvo resultados que validan las clasificaciones, con un valor de 0,84 para 1989 y 0,8 para 2015. Las plantaciones forestales dentro del

AMV duplicaron su extensión pasando de 4.684,41 ha. en 1989 a un total de 8.869,59 ha. para el 2015; El suelo urbano, sin y con vegetación, aumentó de 8.906,13 ha. en 1989 a 14.877,9 ha. en el año 2015. En la figura 2 se puede observar la expansión de ambas coberturas en el área de estudio.

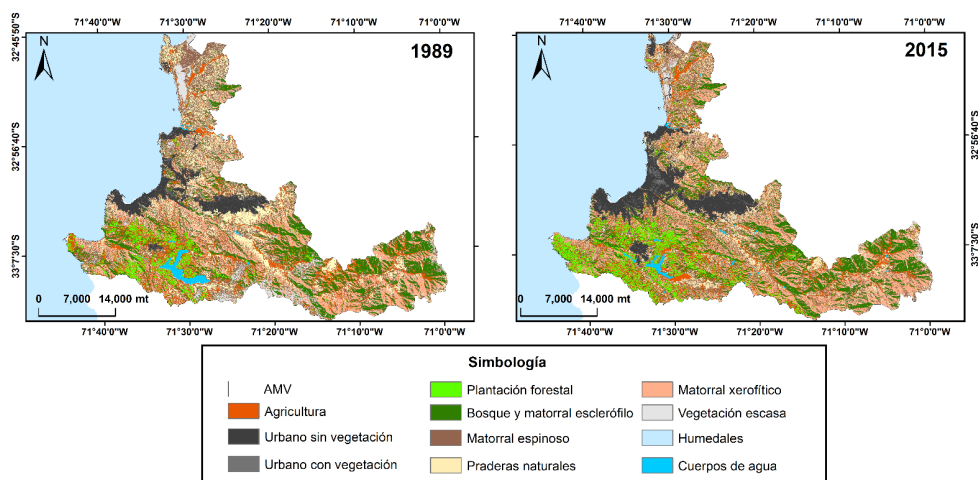


Figura 2. Coberturas del suelo para los años 1989 y 2015, en base a la clasificación realizada. Fuente: Elaboración propia (2017)

Figure 2. Land cover for 1989-2015, based on the classification. Source: Own elaboration (2017)

A partir del análisis de cambio entre las coberturas de 1989 y 2015, se determinó que en el caso de las plantaciones forestales, del total de superficie observada en 2015, un 21,8% (1.929 ha) corresponde a lo que en 1989 era Bosque y matorral esclerófilo; un 15,4% (1.369 ha.) era agricultura; 10,7% (950 ha.) matorral espinoso; 16,8% (1.487 ha.) matorral xerofítico, mientras que un 26,8% (2.373 ha.) se mantuvo como plantación forestal en ambos años. En el caso del suelo urbano se observa que el mayor cambio fue desde la cobertura de matorral espinoso con un 12,3% (1.835 ha.); le sigue matorral xerofítico con un 5% (744 ha.); agricultura con 4% (601 ha.); finalmente bosque y matorral esclerófilo con 2,3% (348 ha.) También se puede observar que la expansión urbana aumenta considerablemente bordeando el sector Valparaíso - Viña del Mar, especialmente hacia los cerros de ambas ciudades. Se observa también un incremento de superficie en el sector de Placilla - Curauma, a un costado del Lago Peñuelas, donde de igual manera se observa un aumento considerable de la cobertura de plantación forestal (figura 2).

Análisis de métricas

En el análisis de métricas por clase, se observó un aumento en el área total por clase (CA) para las cuatro coberturas más relevantes en el estudio. Los suelos urbanos aumentaron 5.349,5 ha entre 1989 y 2015, mientras que las plantaciones forestales mostraron un aumento de 4.185,2 ha en el mismo periodo. Los suelos urbanos con vegetación aumentaron 622,3 ha, mientras que la cobertura natural correspondiente a Bosque y matorral esclerófilo mostraron un aumento de 1.853,4 ha entre los mismos años (figura 3). El número de parches (NP) también mostró un aumento en estas cuatro coberturas. En este sentido, suelos urbanos aumentaron en un total de 141 parches, plantaciones forestales 409 parches, suelos urbanos con vegetación 522 parches y finalmente, Bosque y matorral esclerófilo mostró un aumento de 2.705 parches.

El índice de parche más largo (LPI) arrojó valores bajo el 10% para todas las coberturas. Con respecto a las cuatro coberturas de mayor relevancia, se obtuvo

Tabla 3

Cambios en las coberturas del suelo para el Área Metropolitana de Valparaíso. Fuente: Elab. propia.

Table 3

Land cover changes for the Metropolitan Area of Valparaíso. Source: Own elaboration.

Cobertura del suelo	Año 1989 (ha)	Año 2015 (ha)
Agricultura	14.468,13	13.721,31
Urbano sin vegetación	7.858,08	13.207,59
Cuerpos de Agua	1.596,96	970,11
Humedales	69,12	22,59
Praderas	18.712,62	16.344,99
Bosque y Matorral Esclerófilo	20.724,48	22.577,85
Matorral Espinoso	29.088,45	26.154,90
Matorral Xerofítico	21.378,42	21.759,75
Plantación Forestal	4.684,41	8.869,59
Escasa Vegetación	8.688,15	3.024,81
Urbano con Vegetación	1.048,05	1.670,31

que suelos urbanos alcanzaron un 5,5%, plantaciones forestales 0,9%, urbano con vegetación solo un 0,13%, y finalmente bosque y matorral esclerófilo obtuvo solo un 1,07%. con respecto al índice de distancia media euclidiana (ENN_MN), se constató una disminución entre 1989 y 2015 de 19 metros para la cobertura urbano sin vegetación, plantación forestal por su parte, disminuyó 93 metros, bosque y matorral esclerófilo mostró una disminución en 5,3

metros, mientras que la cobertura urbana con vegetación aumentó una distancia de 8 metros (figura 4).

El índice de agregación arrojó un aumento para urbano sin vegetación de un 1,1%, al igual que urbano con vegetación que aumentó en 5,3%. Plantación forestal en cambio, disminuyó en 1,4%, bosque y matorral esclerófilo en cambio, disminuyó en 1.2% (figura 5).

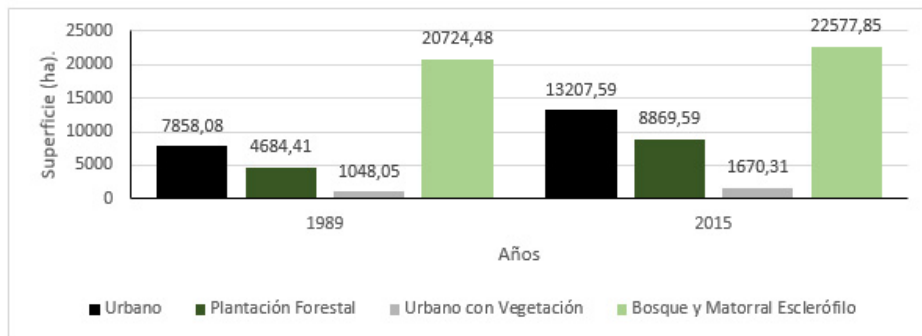


Figura 3. Área total por clase para los años 1989 y 2015. Fuente: Elaboración propia (2017)

Figure 3. Total class area for 1989 and 2015. Source: Own elaboration (2017)

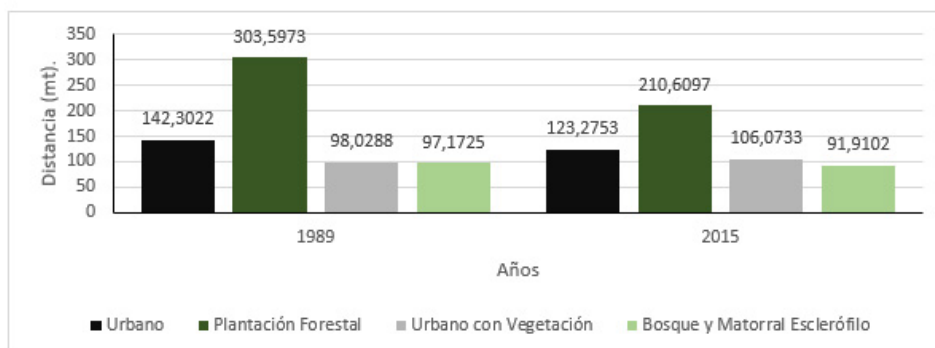


Figura 4. Diferencias en la Distancia euclidiana para los años 1989 y 2015. Fuente: Elaboración propia (2017)

Figure 4. Euclidean distance differences for 1989 and 2015. Source: Own elaboration (2017)

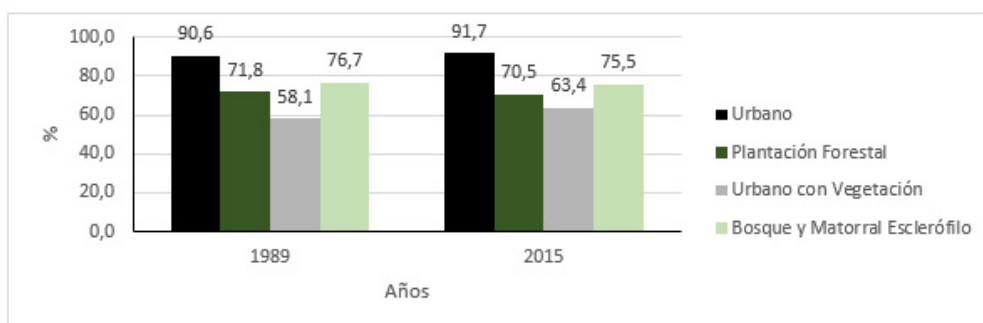


Figura 5. Índice de agregación para los años 1989 y 2015. Fuente: Elaboración propia (2017)

Figure 5. Aggregation index for 1989 and 2015. Source: Own elaboration (2017)

Los resultados obtenidos para el análisis a nivel de paisaje por su parte (tabla 4), indica que a nivel de paisaje entre los años 1989 y 2015 el número de parches (NP) se registró un incremento del 5,5%. El área núcleo total (TCA) también aumentó 824,5 ha entre ambos años. caso contrario a lo observado en la distancia media euclidiana (ENN_MN) en donde, a nivel de paisaje, se mostró una disminución de 3,2 metros. El índice de agregación también disminuyó pasando de 66,3% a un 64,3%. Con respecto a los índices de diversidad, SHDI aumentó en 0,01, mientras que SIDI se mantuvo constante (tabla 4).

Áreas incendiadas

Dentro del Área Metropolitana de Valparaíso, se detectaron dos áreas incendiadas ocurridas en el evento del verano 2017. Una de ellas ubicada en el sector Laguna Verde, que cubrió una superficie de 266 ha, y otra cerca del sector Colliguay – El Molino, con una superficie de 270,2 ha, la superficie total dentro del AMV fue de 536,2 ha, de las cuales un 1,9% presentó una severidad alta, 19% una severidad moderada-alta, 38% moderada-baja y un 25% severidad baja (figura 6).

Al observar el tipo de cobertura afectada por el incendio y su grado de severidad

Tabla 4
Métricas del paisaje para el Área Metropolitana de Valparaíso en los años 1989 y 2015. Fuente: Elaboración propia (2017)

Table 4
Landscape metrics for Metropolitan Area of Valparaíso in 1989 and 2015. Source: Own elaboration (2017)

Indicador/ Año	NP	LPI	AREA_MN	TCA	CORE_MN	ENN_MN	PRD	SHDI	SIDI	AI
1989	96.605	2,96	1,33	7.771,14	0,08	90,65	0,01	2,03	0,85	66,26
2015	109.040	5,52	1,18	8.595,63	0,08	87,42	0,01	2,03	0,85	64,34

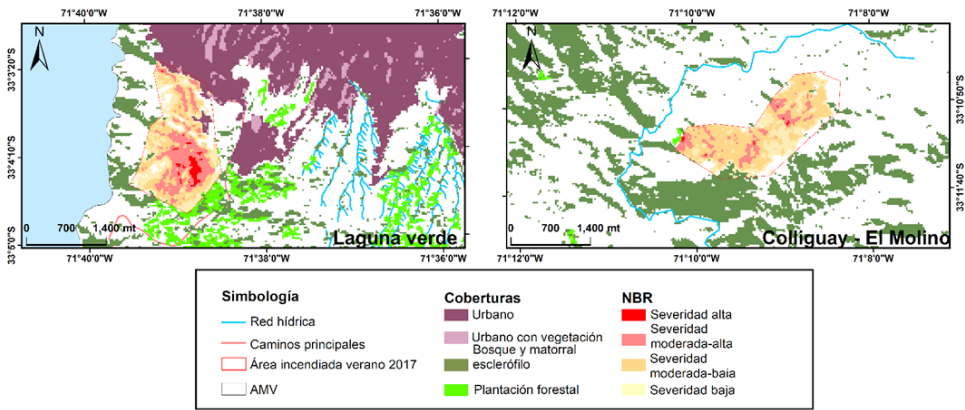


Figura 6. Grado de severidad para las áreas incendiadas en el Área Metropolitana de Valparaíso. Izquierda: sector Laguna Verde; Derecha: sector Colliguay - El Molino. Fuente: Elaboración propia a partir de De la Barrera & Ruiz (2017)

Figure 6. Severity index for burned area in the Metropolitan area of Valparaíso. Left: Laguna verde area; Right: Colliguay - El Molino area. Source: Own elaboration based on De la Barrera & Ruiz (2017)

se obtiene para el incendio de Laguna Verde, que dentro de la categoría alta severidad, la cobertura más afectada fue Plantación forestal con 5,69 hectáreas, al igual que en el grado de severidad moderado-alto, en donde la cobertura se vio afectada en 25,54 hectáreas. En esta categoría también destaca Agricultura con 14,97 hectáreas y el Bosque y matorral esclerófilo con 13,51 hectáreas afectadas.

En el caso del incendio ocurrido en el sector de Colliguay - El Molino, dentro del grado

de severidad alto no resulta tan significativo abarcando 0,99 hectáreas. Dentro de la categoría moderado-alto, destaca la cobertura Matorral Xerofítico con 13,36 hectáreas, y Bosque y matorral esclerófilo con 7,46 hectáreas afectadas. Estas mismas coberturas destacan en el grado moderado-bajo, con 68,24 y 13,92 hectáreas respectivamente. A estas coberturas se le suma el matorral espinoso, que dentro de esta categoría se vio afectado con 32,36 hectáreas (tabla 5).

Tabla 5

Grado de severidad por tipo de cobertura para los incendios del Área Metropolitana de Valparaíso.

Fuente: Elaboración propia (2017)

Table 5

Severity degree for land cover type in each burned area in Metropolitan area of Valparaíso. Source:

Own elaboration (2017)

	No quemado (ha.)	Severidad Baja (ha.)	Severidad moderada-baja (ha.)	Severidad moderada-alta (ha.)	Severidad alta (ha.)	Total general (ha.)
Laguna Verde						
Agricultura	0,90	3,92	7,87	14,97	1,79	29,52
Urbano s/v	11,08	2,90	0,49	0,03		15,16
Praderas	6,28	8,96	5,47	0,55		21,48
Bosque y matorral esclerófilo	2,16	10,91	19,16	13,51	0,72	46,45
Matorral espinoso	9,08	20,75	17,04	5,00	0,04	52,28
Matorral xerofítico	7,23	11,27	13,42	7,86	0,01	39,88
Plantación forestal	0,39	8,36	11,27	25,54	5,69	51,26
Escasa vegetación	2,10	0,60	0,13	0,09		3,39
Urbano c/v	0,77	0,54	0,71	0,05		2,08
Total general	39,98	68,19	75,56	67,59	8,24	261,50
Colliguay - El Molino						
Agricultura	0,08	0,37	0,38	1,59	0,55	2,98
Praderas	6,20	8,40	12,31	1,77		28,68
Bosque y matorral esclerofilo	9,19	7,47	13,92	7,46	0,19	38,31
Matorral espinoso	8,11	14,65	32,36	7,29	0,02	62,50
Matorral xerofítico	12,67	27,28	68,24	13,36	0,15	121,71
Plantación forestal				0,27	0,08	0,35
Escasa vegetación	6,23	2,84	0,40			9,58
Total general	42,47	61,02	127,62	31,76	0,99	264,11

Discusión

Los cambios en las coberturas del suelo, se observa que las coberturas de uso productivo (urbano, agricultura, plantación forestal) presentaron mayores cambios. En este contexto, Tellier, Figueroa, y Castro (2010) señala que, considerando los cambios en las actividades económicas -en este caso- agropecuarias, como las hortofrutícolas existentes en la zona, es muy probable que la presión de las actividades productivas sobre los ecosistemas naturales en el AMV, siga en aumento los próximos años, pudiendo aumentar la fragmentación y pérdida de hábitat en estos ecosistemas. Los resultados mostraron, además, que entre 1989 y 2015, los suelos forestales aumentaron considerablemente su superficie y las métricas acusan una dominancia de las plantaciones y la urbanización sobre el resto de los usos. Miranda et al. (2015) encontró resultados similares en donde, la cobertura de plantación forestal se ha vuelto el elemento dominante del paisaje, al igual que los resultados obtenidos por Altamirano et al. (2013b).

Con respecto a la dominancia observada en la cobertura de plantaciones forestales y la incidencia que puede tener esta en el grado de severidad de los incendios forestales, Castillo & Correa (2016), postulan el incremento en la cubierta forestal puede ser preocupante bajo el contexto actual de cambio climático, ya que no solo presentan una alta severidad, lo que coincide con los resultados obtenidos, sino que además registran una mayor peligrosidad debido a la continua disponibilidad de combustible según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2016). Esto se puede ver en términos generales tras lo ocurrido en los incendios de la zona centro-sur de Chile, ocurridos en el verano recién pasado, en donde la cobertura más afectada fueron las plantaciones forestales (De la Barrera & Ruiz, 2017). En el caso particular del área estudiada, esto se ve reflejado en los resultados obtenidos en el

sector de Laguna Verde, en donde el grado de severidad más alta, se encontró predominado por las plantaciones forestales, no así en el incendio registrado en la zona de Colliguay - Los Molinos. Esta diferencia podría estar determinada por los factores geográficos de la zona, principalmente por la alta presencia de plantaciones forestales en el sector de la Cordillera de la Costa (Schulz et al., 2010). Del total del área incendiada en el AMV (522,61 ha) 6,04% corresponde a plantación forestal y 4,19% corresponde a Bosque y matorral esclerófilo. Estos datos, concuerdan con otros estudios similares realizados en la región de Valparaíso, De la Barrera & Ruiz (2017), determinaron una superficie incendiada de 11.081 ha, mientras que otro estudio realizado por CONAF (2017), determinó una superficie de 12.696 ha. Para la cobertura de Plantación forestal, el primer estudio determinó que un 3,08% de esta cobertura presentó los grados de severidad más altos (moderado-alto; alto), mientras que CONAF determinó un 2,13%. Para el caso de Bosque y matorral esclerófilo los resultados fueron de 9,8% y 11, 05% respectivamente.

Dentro de las limitaciones observadas en la realización del estudio, se encuentran los errores típicos en estudios de cambios de cobertura (Shao & Wu, 2008). Si bien se trabajó con puntos en terreno y el valor del índice kappa superó los valores aceptables ($K > 0.8$) en ambas clasificaciones, siempre queda un margen de error, que si bien es mínimo puede o no alterar el resultado final. Otra limitación que se encontró durante el desarrollo de la investigación, es la falta de estudios en Chile, respecto a la correlación existente entre el daño de los incendios forestales y la intensidad de los mismos (Castillo et al., 2017), por lo que se dificulta la posibilidad de contrastar resultados en esta materia.

Vega-García & Chuvieco (2006) indican que los usos/coberturas del suelo han sido señalados como un importante factor que explica la ocurrencia de incendios forestales. No obstante, Altamirano et al.

(2013a) excluyeron esta variable, debido principalmente a que los disturbios por fuego son altamente sensibles al clima, en este sentido, Dube (2009) argumenta que la frecuencia e intensidad de un incendio, es más a menudo explicados por variaciones climáticas que por actividades humanas. Sin embargo, se han reportado tendencias positivas, como en el estudio de Zhang et al. (2010), en donde la actividad humana es uno de los precursores de la ocurrencia de incendios forestales.

A pesar de la dificultad para encontrar relaciones significativas entre las métricas de paisaje y los regímenes de incendio en el Área Metropolitana de Valparaíso, esto no necesariamente quiere decir que la fragmentación del hábitat no tenga un efecto en el tamaño y la frecuencia de incendios forestales, sino más bien refleja la complejidad de las variables que pueden estar implicadas en la ignición y propagación de los incendios, como la topografía, vientos, temperatura, humedad y tipo de vegetación (Blondel & Fernández, 2012).

Por otro lado, se puede observar en los resultados obtenidos mediante el estudio de estas métricas, la disminución de la distancia y el crecimiento de las coberturas urbanas y forestales, permitiendo una mayor continuidad de combustible en el caso de las plantaciones, mientras que a nivel general existe un proceso de fragmentación que no tiene una mayor envergadura. Altamirano et al. (2013a), en su estudio, predice un importante aumento de la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales, haciendo las áreas adyacentes aún más vulnerables. A lo anterior se suma los resultados expuestos por Vega-García & Chuvieco (2006), quienes observan que la ocurrencia de incendios aumentará en áreas con mayor homogenización del paisaje. Con respecto a la disminución de la distancia entre ambas coberturas, Badía et al. (2010) señala que la dificultad de establecer un límite entre la expansión urbana y forestal es un factor clave que incide en la vulnerabilidad del

territorio respecto a los incendios forestales. Finalmente, es necesario tomar en cuenta que en Chile el 99,9% de los incendios son generados por la acción del ser humano (Fernández et al., 2010). Esas cifras coinciden con datos oficiales entregados por CONAF en su informe sobre incendios forestales en Chile, en donde la principal causa de estos eventos es de accidentes y negligencias (58,2%), incendios intencionales (24%), causas desconocidas (17,6%) y causas naturales (0,2%) atribuidas principalmente a erupciones volcánicas y tormentas (CONAF, 2017). A esto se le suma el evento de mega sequía que ha experimentado Chile central, dentro del cual, los principales impactos sobre el territorio tienen relación con la sequía en la hidrología superficial, aguas subterráneas y también la ocurrencia de incendios forestales (Sarricolea & Meseguer-Ruiz, 2016; Garreaud et al., 2017).

Tanto los cambios socio-económicos como el impacto del cambio climático afectan considerablemente el régimen y comportamiento de los incendios forestales (Kraxner et al., 2013). El contexto de cambio climático en Chile es evidente, y de acuerdo a lo expuesto por González, Lara, Urrutia y Bosnich (2011) tiene el potencial necesario para influir en el aumento de incendios forestales.

En este sentido, la disminución de la frecuencia y magnitud de los incendios, debe estar ligada a mejoras en campañas de prevención y manejo respecto a estos eventos, considerando que se espera una disminución en las precipitaciones y un aumento en la temperatura durante los próximos 70 años para la región (Blondel & Fernández, 2012; Luebert & Plischoff, 2012). Tanto Chile como otros países mediterráneos, enfrentan una considerable presión antrópica sobre los ecosistemas naturales (Úbeda & Sarricolea, 2016), por lo que es de vital importancia informar a la población, las medidas de prevención de incendios forestales existentes.

Conclusiones

Estudiar la relación entre cambios de las coberturas del suelo y la severidad de incendios forestales, es de gran relevancia, especialmente en el contexto global del cambio climático (IPCC, 2014). La tendencia global indica que las coberturas de uso productivo influenciadas por la presión antrópica, irán en un aumento constante (d'Amour et al., 2017). Se ha podido observar también, a lo largo de esta investigación, que las áreas urbanas a medida que se expanden, irán acercándose a zonas de plantación forestal que, a su vez, se irán expandiendo, y lo mismo sucederá a la inversa. Esta inminente expansión, no solo genera una amenaza hacia las coberturas vegetales que irán en disminución, sino que genera un peligro latente de incendios forestales. Estudiar estos fenómenos por medio del análisis de métricas de paisaje resulta positivo ya que permite constatar cuantitativamente el cambio en la estructura del paisaje.

Con respecto al grado de severidad, se pudo constatar que en el área incendiada con mayor grado de severidad (Laguna Verde), hay una relación directa con las plantaciones forestales. Los incendios en Chile son provocados casi en su totalidad por la acción del hombre, por lo que la cercanía entre estas áreas y las zonas urbanas, pone en riesgo no solo la vida de quienes viven en esos sectores, sino el entorno en su conjunto.

Es de esperar, según la cantidad de antecedentes revisado junto con el aumento de los fenómenos provocados por el cambio climático (IPCC, 2014), que se tomen medidas gubernamentales en esta temática, considerando sobre todo escenarios futuros de cambio climático (IPCC, 2007), en donde veranos más secos, pueden generar nuevos eventos incendiarios tan importantes como el vivido durante el verano recién pasado.

Agradecimientos

Los autores agradecen al proyecto FONDECYT N°1150422, por el apoyo a la realización de esta investigación.

Bibliografía

Altamirano A., Salas C., Yaitul V., Smith-Ramírez C., & Ávila A. (2013a). Influencia de la Heterogeneidad del paisaje en la ocurrencia de incendios forestales en Chile central. *Revista de Geografía Norte Grande*, 55, 157-170. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022013000200011>

Altamirano, A., Aplin, P., Miranda, A., Cayuela, L., Algar, A.C., & Field, R. (2013b). High rates of forest loss and turnover obscured by classical landscape measures. *Applied Geography*, 40, 199-211. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.03.003>

Arroyo, M. T. K., Marticorena, C., Matthei, O., & Cavieres, L. (2000). Plant invasions in Chile: present patterns and future predictions. En H. A. Mooney & R.J. Hobbs (Eds.) *Invasive species in a changing world*, 385-421. Washington, D.C. Covelo, California: Island press. ISBN 1-55963-781-1

Biblioteca del Congreso Nacional (BCN) (2017). *Clima y vegetación Región de Valparaíso*. Disponible en: <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region5/clima.htm>

Blondel, M. & Fernández, I. C. (2012). Efectos de la fragmentación del paisaje en el tamaño y frecuencia de incendios forestales en la zona central de Chile. *Revista Conservación Ambiental*, 2(1), 7-16. Recuperado de <http://www.ecomabi.cl/biblioteca/file/297-blondel-mb-fernandez-ic-2012-efectos-de-la-fragmentacion-del-paisaje-en-el-tamano-y-frecuencia-de-incendios-forestales-en-la-zona-central-de-chile-rev-cons-amb?tmpl=component>

Castillo, S.M. & Correa, J.L. (2016). Tragedia de un incendio anunciado: el caso

de Valparaíso, Chile Central. En L. Lourenço (Ed.) *Multidimensão e territórios de risco*. (pp.09-714). Coimbra, Coimbra University Press. http://dx.doi.org/10.14195/978-989-96253-3-4_124

Castillo M., Julio, G., & Quintanilla, V. (2011), Vulnerabilidad y daño potencial ocasionado por incendios en áreas de interfaz urbano-forestal, Provincia de Valparaíso, Chile Central. *Territorium: Revista Portuguesa de riscos, prevenção e segurança*, 18, 247-254. http://dx.doi.org/10.14195/1647-7723_18_23

Castillo M., Rodríguez y Silva F., & Molina J.R. (2009). Situación de los incendios forestales de vegetación nativa en la región de Valparaíso, Chile central. *Geographicalia*, 56, 89-110. https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.200956806

Castillo, M. E., Molina, J. R., Rodríguez y Silva, F., García-Chevesich, P., & Garfias, R. (2017). A system to evaluate fire impacts from simulated fire behavior in Mediterranean areas of Central Chile. *Science of the Total Environment*, 579, 1.410-1.418. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.139>

Chander, G., Markham, B. L., & Helder, D. L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 113(5), 893-903. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.007>.

Chavez, P. (1988). An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, 24(3), 459-479. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90019-3](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90019-3)

Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B., & Lambin, E. (2004). Digital

change detection methods in ecosystem monitoring: a review. *International Journal of Remote Sensing*, 25(9): 1565-1596. <https://doi.org/10.1080/0143116031000101675>

Corporación Nacional Forestal (CONAF). (abril, 2017). *Análisis de la Afectación y Severidad de los incendios forestales ocurridos en enero y febrero de 2017 sobre los usos de suelo y los ecosistemas naturales presentes entre las regiones de Coquimbo y la Araucanía de Chile*. (Informe Técnico. 56 p.) Santiago, Chile. Recuperado de http://www.conaf.cl/tormenta_de_fuego-2017/INFORME-AFECTACION-Y_SEVERIDAD-DE-INCENDIOS-FORESTALES-VERANO-2017-SOBRE-ECOSISTEMAS-VEGETACIONALES-CONAF.pdf

Corporación Nacional Forestal (CONAF). (2013). *Monitoreo de cambios, corrección cartográfica y actualización del catastro de bosque nativo en la región de Valparaíso. Chile*.

Corporación Nacional Forestal (CONAF) (2011). *Catastro y evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile*. Santiago, Chile.

Corporación Nacional Forestal (CONAF) (2010). *Recursos forestales. Protección contra incendios forestales*.

d'Amour, C. B., Reitsma, F., Baiocchi, G., Barthel, S., Güneralp, B., Erb, K.H., Haberl, H., Creutzig, F., & Seto, K.C. (2017). Future urban land expansion and implications for global croplands. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(34), 8.939-8.944. <https://doi.org/10.1073/pnas.1606036114>

De la Barrera & Ruiz, V. (2017). Evaluación del impacto de los incendios de Chile Centro-Sur en el verano del año 2017 (Primera entrega). IALE-Chile. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32916.91528>

- Dorresteijn, I., Teixeira, L., Von Wehrden, H., Loos, J., Hanspach, J., Stein, J.A.R., & Fischer, J. (2015). Impact of land cover homogenization on the Corncrake (*Crex crex*) in traditional farmland. *Landscape Ecology*, 30(8), 1.483-1.495. <https://doi.org/10.1007/s10980-015-0203-7>
- Dube, O.P. (2009). Linking fire and climate: Interactions with land use, vegetation, and soil. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1(2), 161-169. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2009.10.008>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (2016). *findings and implications from a coarse-scale global assessment of recent selected mega-fires*. Recuperado de <http://www.fao.org/forestry/firemanagement/es/>
- Fernández, I., Morales, N., Olivares, L., Salvatierra, J., Gómez, M., & Montenegro, G. (2010). *Restauración ecológica por ecosistemas nativos afectados por incendios forestales*. Santiago, Chile: Lom. ISBN: 978.956.14-1112-8. Recuperado de http://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1363716217res_baja.pdf
- Forman, R.T.T. (1995). *Land mosaics: the ecology of landscapes and regions*. Cambridge University Press, Cambridge. ISBN 0521479800, 9780521479806
- Fuente de Val, G., Atauri Mezquida, J., & Lucio Fernández, J. (2004). El aprecio por el paisaje y su utilidad en la conservación de los paisajes de Chile central. *Revista Ecosistemas*, 13(2), 82-89. Recuperado de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/571>
- Garreaud, R., Alvarez-Garreton, C., Barichivich, J., Boisier, J. P., Christie, D., Galleguillos, M., ... Zambrano-Bigiarini, M. (2017). The 2010-2015 mega drought in Central Chile: Impacts on regional hydroclimate and vegetation. *Hydrology and Earth System Science Discuss*, 2017, 1-37. <https://doi.org/10.5194/hess-2017-191>
- González, M.E., Lara, A., Urrutia, R. & Bosnich, J. (2011). Cambio climático y su impacto potencial en la ocurrencia de incendios forestales en la zona centro-sur de Chile (33°- 42° S). *Bosque*, 32(3), 215-219. Recuperado de <http://www.scielo.cl/pdf/bosque/v32n3/art02.pdf>
- Heilmayr, R., Echeverría, C., Fuentes, R., & Lambin, E.F. (2016). A plantation-dominated forest transition in Chile. *Applied Geography*, 75, 71-82. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.07.014>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INE). (2012). *X Censo Nacional de Población y VI de Vivienda*. Recuperado de <http://www.inec.cl/estadisticas/censos/censos-de-poblacion-y-vivienda>
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the intergovernmental panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland, 151.
- IPCC. (2007). *Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability*. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.
- Kraxner, F., Nordström, E. M., Havlík, P., Gusti, M., Mosnier, A., Frank, S., ... Obersteiner, M. (2013). Global bioenergy scenarios-Future forest development, land-use implications, and trade-offs. *Biomass and Bioenergy*, 57, 86-96. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.02.003>

- Kuusaaari, M., Bommarco, R., Heikkinen, R.K., Helm, A., Krauss, J., Lindborg, ... Steffan-Dewenter, I. (2009). Extinction debt: a challenge for biodiversity conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, 24(10): 564-571. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.04.011>
- Luebert, F. & Plissock, P. (2012). Variabilidad climática y bioclimas de la Región de Valparaíso, Chile. *Investigaciones Geográficas*, 44, 41-56. <https://doi.org/10.5354/0719-5370.2012.26408>
- McGarigal, K. & Marks, B.J. (1995). Fragstats: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. (Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351). Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 122 p. <https://doi.org/10.2737/PNW-GTR-351>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.02.016>
- Montoya-Tangarife, C., de la Barrera, F., Salazar, A., & Inostroza, L. (2017). Monitoring the effects of land cover change on the supply of ecosystem services in an urban region: A study of Santiago-Valparaíso, Chile. *PloS one*, 12(11), e0188117 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0188117>
- Moritz, M.A., Batllori, E., Bradstock, R.A., Gill A.M., Handmer, J., Hessburg, P.F., ... Syphard, A.D. (2014). Learning to coexist with wildfire. *Nature*, 515(7525), 58-66. <https://doi.org/10.1038/nature13946>
- Murcia, C. (1995). Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology & Evolution*, 10(2). 48-62. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(00\)88977-6](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(00)88977-6)
- Navarro-Cerrillo, R. M., Hayas, A., García-Ferrer, A., Hernández, C.R., Duhalde, P., & González, L. (2008). Caracterización de la situación posincendio en el área afectada por el incendio de 2005 en el Parque Nacional de Torres del Paine (Chile) a partir de imágenes multiespectrales. *Revista Chilena de Historia Natural*, 81(91), 95-110. Recuperado de http://rchn.biologiachile.cl/pdfs/2008/1/Navarro-Cerrillo_et_al_2008.pdf
- Riaño, D., Chuvieco, E., Salas, J., & Aguado, I. (2003). Assessment of different topographic corrections in Landsat-TM data for mapping vegetation types. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(5): 1056-1061. Recuperado de <http://www.geogra.uah.es/images/Documentos/emilio/PDF/Riano2003b.pdf>
- Rojas C., Mauricio V., Sergio O., Peters S., & Constanza V. (2013) Pre and Post Earthquake Land Use and Land Cover Identification in Concepción. In: J.Krisp, L.Meng, R.Pail, U.Stilla (eds) *Earth Observation of Global Changes (EOGC)*. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Springer, Berlin, Heidelberg https://doi.org/10.1007/978-3-642-32714-8_15
- Sarricolea, P. & Meseguer-Ruiz, Ó. (2016). Sequías en Chile central a partir de diferentes índices desde 1824. En J. Olcina Cantos, R. Amorós, M. Antonio, E.M. Mantero (eds.). *Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio* (pp. 387-395). Alicante: Instituto Interuniversitario de Geografía, Universidad de Alicante; [Sevilla]: Asociación Española de Climatología. ISBN 978-84-16724-19-2 <http://dx.doi.org/10.14198/XCongresoAECAlicante2016-36>

- 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(3), 436-447. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2009.12.003>
- Shao, G. & Wu, J. (2008). On the accuracy of landscape pattern analysis using remote sensing data. *Landscape Ecology*, 23(5): 505-511. <https://doi.org/10.1007/s10980-008-9215-x>
- Tellier, S., Figueroa, J.A., & Castro, S.A. (2010). Especies exóticas de la vertiente occidental de la Cordillera de la Costa, Provincia de Valparaíso, Chile central. *Gayana Botánica*. 67(1): 27-43. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432010000100004>
- Úbeda, X. & Sarricolea, P. (2016). Wildfires in Chile: A review. *Global and Planetary Change*, 146, 152-161. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.10.004>
- Vega-García, C. & Chuvieco, E. (2006). Applying local measures of spatial heterogeneity to landsat-TM images for predicting wildfire occurrence in mediterranean landscapes. *Landscape Ecology*, 21(4), 595-605. <https://doi.org/10.1007/s10980-005-4119-5>
- Zhang, X.C, Zhang, H.Y & Zhou, D.W (2010). Using GIS spatial analysis and logistic regression to predict de probabilities of human-caused grassland fires. *Journal of Arid Environments*, 74(3), 386-393. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2009.09.024>