

Expansión de frutales en laderas en el Valle de Malla-rauco

Fruit-tree expansion on hillsides of the Malla-rauco Valley

Marco A. Peña¹ y María I. González²

RESUMEN

El presente trabajo examinó la expansión reciente de frutales de cítricos y Palto en terrenos de ladera antes ocupados por vegetación nativa (bosque/matorral esclerófilo) en el Valle de Malla-rauco, Chile central. Para ello, los cultivos de interés ubicados en terrenos de ladera del área de estudio fueron mapeados sobre imágenes satelitales adquiridas en 2006 y 2017, y una matriz de error permitió conocer el cambio temporal de éstos. Además, el NDVI (*normalized difference vegetation index*), calculado y clasificado en tres rangos para los terrenos de ladera a partir de una imagen satelital Landsat adquirida antes del período de interés (2003), sirvió como *proxy* de la biomasa nativa preexistente a los cultivos en cuestión. Los resultados muestran que para el período de interés los cítricos aumentaron su superficie cultivada en 31%, mientras que los Paltos la redujeron en 24%. En ambos años, los cultivos se distribuyeron de forma similar sobre las clases de biomasa vegetal nativa derivadas del NDVI, sin preferencia de una exposición de ladera en particular. Un 41,48% de la superficie de Paltos mapeada en 2006 no se observó en 2017, principalmente a causa de su conversión en cítricos, caracterizados por una mayor tolerancia a las heladas. Una metodología similar podría ser replicada en otras áreas del país que experimentan similares conflictos de ocupación versus vocación del territorio, con el sentido de cuantificar el cambio temporal de los usos/coberturas de suelo involucradas.

ABSTRACT

This work examined the recent expansion of citrus and Avocado fruit-trees on hillside terrains aforesaid occupied by native vegetation (schlerophyll forest/shrubs) on the Malla-rauco Valley, Central Chile. To do this, the crops of interest placed on hillside terrains of the study area were mapped on satellite images acquired on 2006 and 2017, and an error matrix enabled to know their temporal changes. Additionally, the NDVI (normalized difference vegetation index), calculated and classified in three ranges for the hillside terrains by a Landsat satellite image acquired before the period of interest (2003), was used as *proxy* of the native biomass preexisting the aforementioned crops. The results show that for the period of interest the citrus increased their cultivated surface by 31%, while the Avocados decreased it by 24%. In both years, the crops were distributed on a similar way across the native vegetal biomass classes derived from the NDVI, regardless of the hillside. A 41.48% of the Avocados' surface mapped on 2006 was not observed on 2017, mainly because their conversion into citrus, characterized by a higher tolerance to frost. A similar methodology could be replicated in other areas of the country exhibiting similar conflicts between occupation and vocation of the territory in order to quantify the temporal change of the land uses/covers involved.

Palabras clave: NDVI, matriz de error, cultivos frutícolas, Malla-rauco.

Keywords: NDVI, error matrix, fruit-tree crops, Malla-rauco.

¹Departamento de Geografía, Universidad Alberto Hurtado. Cienfuegos 41, Santiago, Chile

²Departamento de Geografía, Universidad Alberto Hurtado. Cienfuegos 41, Santiago, Chile

Fecha de recepción: 3 de julio de 2018

Fecha de aceptación: 4 de diciembre de 2018

INTRODUCCIÓN

El cultivo de la tierra se configura como una actividad económica de primer orden para el ser humano (agricultura), por cuanto suple en gran medida las necesidades alimentarias de éste. Sin embargo, con el creciente aumento de los asentamientos humanos, la presión por suelo cultivable ha aumentado, ocasionando importantes conflictos entre ocupación y vocación territorial.

La actividad agrícola requiere intrínsecamente de espacios otrora ocupados por ecosistemas silvestres, fragmentando ineludiblemente con ello hábitats de especies nativas, muchas de ellas endémicas. A su vez, la pérdida de hábitats debido a presiones antrópicas y la falta de medidas para la conservación de los servicios ecosistémicos ha sido consignada como una de las principales causas de pérdida de biodiversidad a nivel planetario (UICN, 2007). En los países sudamericanos específicamente, la transformación de coberturas de vegetación nativa en campos agrícolas, praderas y zonas urbanas, corresponde el principal factor de cambio ambiental, con la consiguiente pérdida de biodiversidad (Sala *et al.*, 2000).

En Chile, la zona central es una de las más afectadas por estos conflictos, siendo la creciente urbanización y sus actividades económicas asociadas, como la agricultura, las responsables de la transformación drástica de su paisaje y ecosistema mediterráneo, definido por la presencia de vegetación nativa de tipo esclerófila. Estas formaciones vegetales se caracterizan por presentar hojas perennes y duras, que les permiten resistir las sequías del período estival, teniendo como principales méritos de conservación su alto endemismo, diversidad y fragilidad. En la Región Metropolitana se concentran 91 especies vegetales endémicas (Arroyo *et al.*, 2002), sin embargo, en el SNASPE (Servicio Nacional de Áreas Silvestres protegidas del Estado) sólo el 10% del bosque esclerófilo del país se encuentra en conservación (Ministerio del Medio Ambiente, 2017).

La presión por suelo agrícola en la zona central experimentó una mayor aceleración a partir de la década del 80, período coincidente con el aumento de la expansión de la metrópolis a causa de la liberación y desregularización del suelo para uso urbano en el año 1979 (Poduje, 2006). La expansión del suelo urbano trajo aparejado una mayor necesidad de suelos agrícolas, derivando en la rápida ocupación de terrenos de valle y

posteriormente, de las laderas y piedemontes, como resultado de la escasez de suelo.

Comunas como Melipilla, Talagante y María Pinto, hoy se definen por una fuerte vocación agrícola de su territorio, caracterizada por la plantación de árboles frutales de alto valor económico en laderas como lo son los cítricos y Paltos, los cuales representan el 19% de las plantaciones a nivel regional (CIREN, 2017). Esto ha traído consigo los consabidos problemas asociados a la degradación de suelos y modificación de las escorrentías a nivel de cuenca, además de la pérdida de biodiversidad; específicamente aquella asociada al bosque/matorral esclerófilo, intensificados por prácticas de agricultura intensiva (Donoso, 2013).

Sobre la base de lo anterior, rastrear y cuantificar el efecto que ha tenido la proliferación del uso de suelo agrícola a expensas de la vegetación nativa preexistente en la zona central durante las últimas décadas, permitiría dar cuenta de la magnitud de su impacto sobre los ecosistemas mediterráneos mencionados. Esto otorgaría argumentos para la regularización y ordenamiento de la actividad agrícola, en pos de la conservación de las coberturas de vegetación nativa. En esta línea, el presente trabajo toma como caso de estudio el Valle de Mallarauco entre los años 2006 y 2017, por tratarse de un área y un período donde el fenómeno de expansión agrícola ha sido evidenciado de manera acusada, principalmente mediante la proliferación de frutales de cítricos y Palta en terrenos de ladera. Para esto, el estudio se valió de la interpretación visual y digital de imágenes ópticas satelitales de alta y moderada resolución espacial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Se seleccionó como área de estudio el valle central de Chile donde se ubican las localidades de Mallarauco, Pahuilmo, La Carrera, Quebrada Seca y Los Patos (en adelante Valle Mallarauco, 33°35'11" S - 71°06'11" O, Figura 1). Éste tiene un área de 20 km², principalmente ocupada por cultivos agrícolas de frutales y hortalizas, y pertenece administrativamente a la comuna de Melipilla, Región Metropolitana de Chile. Observaciones hechas en terreno e imágenes satelitales, permitieron constatar una alta proliferación de frutales de cítricos (Limoneros y Naranjos) y Palto en terrenos de ladera,

específicamente a partir de 2006, definiendo ello el inicio de nuestro período de estudio. Si bien este fenómeno es extensivo a otras áreas aledañas, este estudio se limitó al Valle de Mallarauco por tratarse de un área asequible a la corroboración de datos en terreno y relativamente pequeña.



Figura 1: Representación tridimensional del área de estudio a partir de una imagen Landsat.

El valle se inserta en un clima mediterráneo continental, caracterizado por estaciones marcadas, con precipitaciones concentradas en el período invernal y sequedad en período estival. En cuanto a sus características topográficas, este valle tiene una definida distribución Este-Oeste, quedando circunscrito por laderas de relativa baja pendiente, lo que favorece la exposición solana de sus terrenos a lo largo de todo el año.

Mapeo de los cultivos de interés

Primeramente, fueron delimitados los predios de los cultivos de interés (i.e., frutales de cítricos y Palto) en la forma de polígonos sobre una imagen satelital de alta resolución espacial adquirida en la primavera del 2017 (período de mayor vigor vegetal) y disponible en el servicio en línea Google Earth©. Posteriormente, estos polígonos fueron superpuestos a una imagen satelital de alta resolución espacial adquirida en primavera del año 2006 (disponible en el mismo servicio), con el sentido de modificar los límites de los cultivos vectorizados en 2017 a esa fecha. Este procedimiento permitió derivar la base de datos de ambos cultivos para el período de interés.

Cálculo del NDVI del área de interés

El índice espectral NDVI (*normalized difference vegetation index*) fue calculado sobre una imagen Landsat-TM (*Thematic Mapper*) adquirida en la primavera del 2003 con el sentido de dar cuenta de la biomasa vegetal nativa en las laderas del área de estudio de forma previa a la expansión agrícola evidenciada a partir de 2006. Este índice espectral ha sido rutinariamente empleado para correlacionar numerosas variables de estado vegetal, dentro de éstas abundancia de biomasa (Jones y Vaughan, 2010).

El índice es derivado desde imágenes ópticas que contienen las longitudes de onda reflejada donde la vegetación produce señales radiométricas características. Mientras en la región espectral del rojo la vegetación sana absorbe fuertemente la radiación solar, debido a la presencia de clorofila foliar, en la región espectral del infrarrojo cercano (IRC) ésta presenta una alta reflexión de radiación solar, producto de la estructura interna de las hojas sanas. Por lo tanto, mientras más vigoroso se encuentra un vegetal más alto es su diferencia de reflexión entre el rojo e IRC (Peña y Ulloa, 2017). El índice se formula de la siguiente manera:

$$NDVI = (IRC - Rojo) / (IRC + Rojo)$$

Con el sentido de facilitar la interpretación del NDVI, éste fue clasificado a partir de la definición de tres rangos de valores, tomando como criterio la media y la desviación estándar (DE) de los datos exclusivamente pertenecientes a terrenos de ladera, los cuales fueron manualmente enmascarados mediante la construcción de una imagen binaria. Sobre esta imagen de NDVI clasificado fueron superpuestos los cultivos mapeados en 2006 y 2017, con el propósito de medir su impacto en el reemplazo de la vegetación nativa preexistente.

Cambio temporal de los cultivos de interés

Los cultivos mapeados en los años 2006 y 2017 fueron superpuestos con el sentido de derivar una matriz de error, que dio cuenta de los avances y retrocesos que éstos experimentaron en el período de estudio, siendo considerados los cultivos mapeados en 2006 como verdad de terreno.

RESULTADOS

Mapeo de cultivos en el período de interés

En el año 2006 se observaron 57 polígonos correspondientes a los predios de los cultivos de interés; 35 pertenecientes a cítricos y 22 a Palto (Tabla 1), siendo el área de los segundos sólo 2,2% mayor que los primeros. El área promedio de los predios de Palto en tanto, fue 39,94% mayor que la correspondiente a cítricos.

Tabla 1: Principales estadísticas descriptivas de los cultivos de cítricos y Palto en 2006 (DE: desviación estándar).

| Frutal | # predios | Área (km ²) | | |
|----------|-----------|-------------------------|----------|-----|
| | | Total | Promedio | DE |
| Cítricos | 35 | 4.448 | 127 | 176 |
| Palto | 22 | 4.590 | 208 | 326 |

Ambos tipos de cultivo ocuparon una exposición de ladera variable en 2006, *i.e.*, sin privilegiar exposición Norte (solana) o Sur (umbría) (Figura 2).

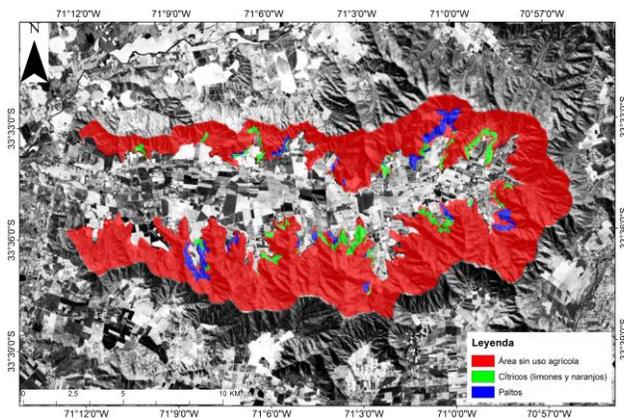


Figura 2: Mapa de la distribución de los cultivos de cítricos y Palto en el Valle de Mallarauco en el año 2006.

En el año 2017 se observaron 67 polígonos correspondientes a los predios de los cultivos de interés; 47 pertenecientes a cítricos y 20 a Palto (Tabla 2), siendo el área de los primeros 44,98% mayor que los segundos. El área promedio de los predios de Palto en tanto, fue 22,53% mayor que la correspondiente a cítricos.

Durante el período de interés los cítricos aumentaron en un 33,06% su superficie, mientras que los Paltos disminuyeron su superficie en un 20,35%.

Tabla 2: Principales estadísticas descriptivas de los cultivos de Cítricos y Palto en 2017 (DE: desviación estándar).

| Frutal | # predios | Área (km ²) | | |
|----------|-----------|-------------------------|----------|-----|
| | | Total | Promedio | DE |
| Cítricos | 47 | 6.645 | 141 | 281 |
| Palto | 20 | 3.656 | 182 | 329 |

Al igual que en el año 2006, en 2017 tanto cítricos como Paltos se distribuyeron heterogéneamente en las laderas del área de estudio (Figura 3).

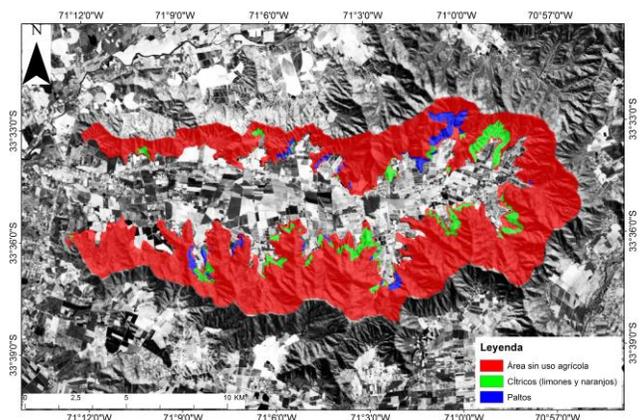


Figura 3: Mapa de la distribución de los cultivos de cítricos y Palto en el Valle de Mallarauco en el año 2017.

Comportamiento temporal del NDVI

En ambos años de estudio los cítricos ocuparon mayormente las clases baja y media de NDVI, experimentando una mayor presencia en todas las clases del índice en el año 2017. Los Paltos en tanto, se distribuyeron más homogéneamente a lo largo de las tres clases de NDVI en ambos años, experimentando una menor presencia en todas las clases del índice en el año 2017.

Tabla 3: Superficie de NDVI según clase ocupada por los cultivos de cítricos y Palto en el período de interés.

| | | Superficie de NDVI ocupada según clase | | | | | | | | | | |
|--------|------|--|-------|-----------------|-------|-----------------|------|-----------------|-----|-----------------|----|----|
| | | 1 | | 2 | | 3 | | | | | | |
| | | Baja | Media | Baja | Media | Baja | Alta | | | | | |
| | | km ² | % | km ² | % | km ² | % | km ² | % | km ² | % | |
| Frutal | 2006 | Cítricos | 68 | 38 | 61 | 37 | 46 | 25 | | | | |
| | | Palto | 57 | 32 | 57 | 32 | 62 | 35 | | | | |
| | 2017 | Cítricos | | | | | | | 101 | 39 | 88 | 34 |
| | | Palto | | | | | | | 50 | 37 | 41 | 30 |

En cuanto a la distribución de las clases de NDVI en el área de estudio (Figura 4), se observa que las clases más altas ocuparon preferentemente las laderas de exposición Sur del valle. Sin embargo, de acuerdo a las Figuras 2 y 3 se puede apreciar que en ambos años de estudio el asentamiento de los cultivos no privilegió alguna exposición en particular, sino más bien la cercanía a quebradas, exhibiendo valores de NDVI variables.

Cambio temporal de los cultivos de interés

La variación de superficie ocupada por los cultivos de interés en el período 2006-2017 fue calculada mediante una matriz de error. En el caso de los Paltos, el complemento de la precisión del productor (*i.e.*, error de omisión o falsos negativos) indica que 41,48% de su superficie mapeada en 2006 dejó de existir en 2017, principalmente a causa de la conversión de éstos en cítricos (1.449 píxeles). Por otra parte, el complemento de la precisión del usuario (*i.e.*, error de comisión o falsos positivos) indica que 26,86% de la superficie de Palto mapeada en 2017 no existía en 2006, principalmente a causa del avance de este cultivo sobre vegetación nativa. De lo anterior se deduce la reducción de superficie ocupada por

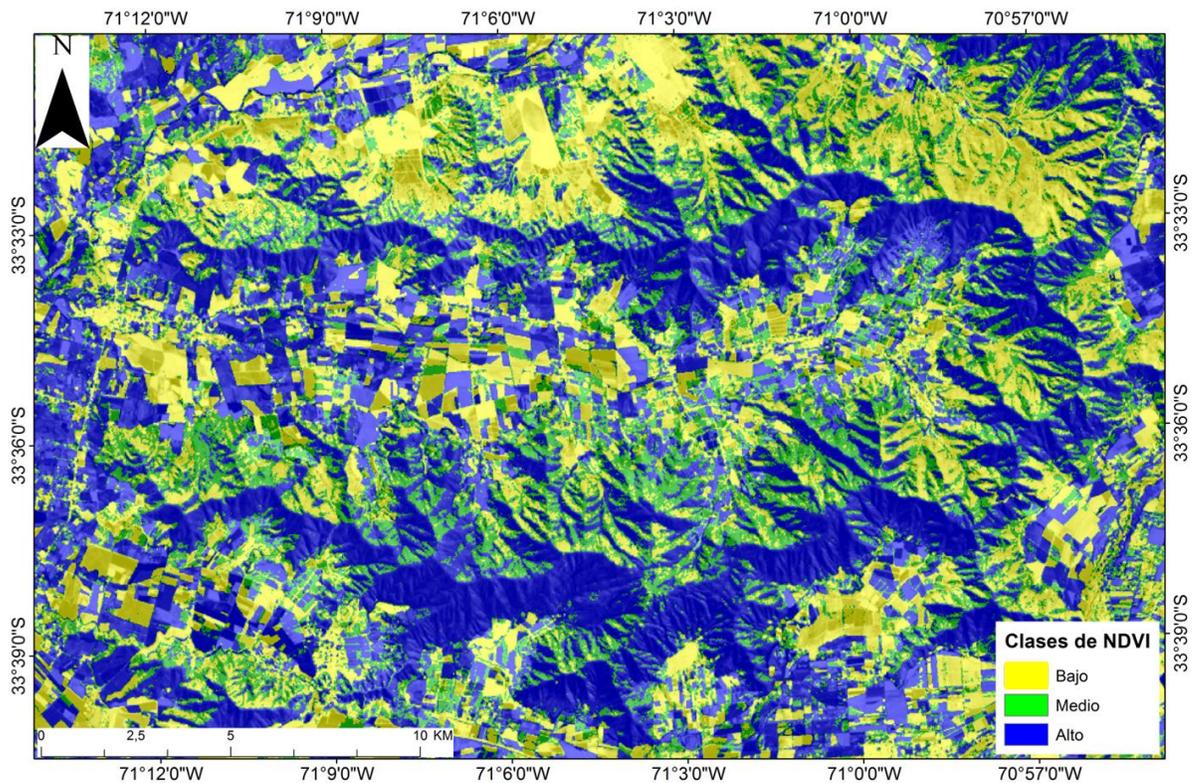


Figura 4: NDVI clasificado en el área de estudio

Paltos en el período de interés (*i.e.*, altos falsos negativos y bajos falsos positivos).

En el caso de los cítricos, el complemento de la precisión del productor muestra que 26,86% de su superficie mapeada en 2006 dejó de existir en 2017, principalmente a causa de la conversión de éstos en vegetación nativa nuevamente (1.091 píxeles). Por otra parte, el complemento de la precisión del usuario muestra que 45,87% de la superficie de cítricos mapeada en 2017 no existía en 2006, a causa del avance de este cultivo tanto sobre vegetación nativa como cultivos de Palto (2.159 y 1.449 píxeles, respectivamente). De lo anterior se deduce el aumento de superficie ocupada por cítricos en el período de interés (*i.e.*, bajos falsos negativos y altos falsos positivos).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados evidencian que durante el período de estudio la superficie de ladera ocupada por los cítricos avanzó un 31%, principalmente a expensas de los Paltos. Esto sugiere que las condiciones agroclimáticas del Valle de Mallarauco podrían no ser favorables para el crecimiento del Palto, debido a su sensibilidad a las heladas, las cuales persisten en gran parte del invierno en el área de estudio. Tales condiciones térmicas podrían incidir en el desarrollo y productividad del Palto, haciéndolo menos atractivo comercialmente (INIA, 2010). Los resultados también muestran que los cultivos de interés ocuparon de forma más o menos homogénea los distintos grados de biomasa de las coberturas vegetales nativas de bosque/matorral esclerófilo en los años de estudio, ubicándose indistintamente en laderas de exposición Norte y Sur.

Este trabajo aplicó una metodología relativamente sencilla de detección de cambio temporal de coberturas de suelo, basada principalmente en la interpretación visual de imágenes satelitales de alta resolución espacial adquiridas en dos fechas contrastantes en relación con la variable categórica de interés. El principal criterio de interpretación que permitió discriminar ambos cultivos fue el de color y textura; ya que los cítricos tienden a presentar un follaje más granulado y un verde más claro en relación con los Paltos. Dado que prácticamente no existen otros tipos de cultivos de ladera en el área de interés, sumado a la posibilidad de constatar en terreno la categoría de aquellos cultivos de dudosa interpretación, la precisión de mapeo obtenida fue de 100% para

ambos tipos de cultivo. Sin embargo, en otras áreas de estudio cabría esperar que esta metodología pueda ser algo más laboriosa de ejecutar si es que existe una mayor cantidad de cultivos mezclados con otros tipos de similar apariencia.

Este trabajo empleó el NDVI como *proxy* de abundancia de biomasa (Jones y Vaughan, 2010). Este índice fue fácil de aplicar e interpretar en el área de estudio, dado que existe la certeza de que representa a una única formación vegetal (bosque/matorral esclerófilo) en terrenos de ladera, sumado a que ninguna especie pretendió ser más valorada que otra. Sin embargo, cabe destacar que el uso del NDVI sin un modelamiento empírico previo puede ser insuficiente si se pretende categorizar una formación vegetal en función de otros criterios ecológicos (*e.g.*, rareza de especies, fauna asociada, etc.), por cuanto una mayor cantidad de biomasa podría no condecirse con la fragilidad o valor ecosistémico de una unidad vegetal dada.

En este trabajo fueron empleadas sólo tres clases de NDVI, con el sentido de manejarlas e interpretarlas fácilmente a partir de una situación previa a la expansión de los cultivos. Sin embargo, cabe señalar que estas clases fueron definidas bajo criterios estadísticos y no físicos. Esto significa que las unidades adimensionales del índice fueron discretizadas y luego interpretadas de forma cualitativa. Por ello, es recomendable que el empleo futuro de este índice para similares propósitos incluya el modelamiento físico de la variable que representa (*e.g.*, biomasa), de modo de posibilitar su interpretación cuantitativa.

La matriz de error es un método tradicional de validación de variables cualitativas (Lillesand *et al.*, 2004), que en este estudio fue adaptado para calcular cambios temporales en la variable categórica de interés, tomando la fecha de 2006, que marca el inicio de la ocupación de suelo por cultivos agrícolas, como la verdad de terreno. Este método es simple y efectivo, por cuanto para su implementación sólo requiere superponer dos mapas clasificados. Una metodología similar podría ser replicada en otros terrenos afectados por la expansión agrícola u otra cobertura/uso de suelo de interés, con el sentido de cuantificar su cambio temporal.

REFERENCIAS

Arroyo, K., Marquet, P., Marticorena, C., Simonetti, J., Cavieres, L., Squeo, F., Rozzi, R. & Massardo,

F. El hotspot chileno, prioridad mundial para la conservación. 24 de abril, de Comisión Nacional de Medio Ambiente Sitio web: http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120068/Kalin%20Arroyo%20MT_Hotspot.pdf?sequence=1&isAllowed=y, 2006.

CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales). Catastro frutícola principales resultados. 9 de diciembre del 2017, de ODEPA-CIREN Sitio web: <http://www.odepa.cl/wp-content/uploads/2016/12/Metropolitana.pdf>, 2017.

Donoso, C. Análisis del estado de la vegetación nativa del cordón montañoso aledaño a la vertiente norte del Río Mapocho de la provincia de Talagante, período 1985-2010. 2013.

Jones, G. & Vaughan, R. Remote sensing of vegetation: principles, techniques, and applications. Oxford university press. 2010.

Lemus, G., Ferreyra, R., Gil, P., Sepúlveda, P., Maldonado, P., Toledo, C., Barrera, C. & Celedón, J. El cultivo del palto. 26 de noviembre del 2017, Instituto de investigaciones agropecuarias Sitio web: <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR36902.pdf>. 2010.

Lillesand, T., Kiefer, R. & Chipman, J. Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons. 2014

Ministerio del Medio Ambiente. Tercer reporte del estado del medio ambiente. 8 de diciembre del 2017, de MMA Sitio web: <http://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/09/REMA-2017.pdf>. 2017.

Sabatini, F. Reforma de los mercados de suelo en Santiago, Chile: efectos sobre los precios de la tierra y la segregación residencial. *Eure* (Santiago), 26(77). 2000. Páginas 49-80.

Sala, O., Chapin, F., Armesto, J. & Berlow, E. (2000). Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287. 2000. Páginas 1770- 1774.

Peña, M. A. & Ulloa, J. Mapping the post-fire vegetation recovery by NDVI time series. In First IEEE International Symposium of Geoscience and Remote Sensing (GRSS-CHILE), 2017. Páginas 1-8. IEEE.

UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) (2007). La pérdida de la biodiversidad, es una pérdida del ser humano. 25 de noviembre del 2017, de UICN Sitio web: <https://www.iucn.org/es/content/lap%C3%A9rdida-de-la-biodiversidad-es-una-p%C3%A9rdida-del-ser-humano>