



**UNIVERSIDAD DE CHILE**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
ESCUELA DE PREGRADO**

**MEMORIA DE TÍTULO**

**ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS DE USO DE SUELO POST INCENDIO EN LOS  
BOSQUES NATIVOS DE LA ZONA CENTRO-SUR DE CHILE.**

**VICENTE IGNACIO URRUTIA ACUÑA**

**Santiago, Chile  
2023**



**UNIVERSIDAD DE CHILE**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
ESCUELA DE PREGRADO**

**MEMORIA DE TÍTULO**

**ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS DE USO DE SUELO POST INCENDIO EN LOS  
BOSQUES NATIVOS DE LA ZONA CENTRO-SUR DE CHILE.**

**ANALYSIS OF THE CHANGES OF LAND USE POST-FIRE IN THE NATIVE  
FORESTS OF THE CENTRAL-SOUTH AREA OF CHILE.**

**VICENTE IGNACIO URRUTIA ACUÑA**

**Santiago, Chile**

**2023**



# UNIVERSIDAD DE CHILE

## FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS ESCUELA DE PREGRADO

### MEMORIA DE TÍTULO

#### ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS DE USO DE SUELO POST INCENDIO EN LOS BOSQUES NATIVOS DE LA ZONA CENTRO-SUR DE CHILE.

Memoria para optar al título  
Profesional de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables

#### VICENTE IGNACIO URRUTIA ACUÑA

##### PROFESOR GUÍA

Sr. Álvaro Gutiérrez I.  
Ingeniero Forestal, Dr.Rer. Nat.

##### Calificaciones

7,0

##### PROFESORES EVALUADORES

Sr. Miguel Castillo S.  
Ingeniero Forestal, M.S. Ph.D.

6,7

Sr. Juan Manuel Uribe M.  
Ingeniero Agrónomo.

6,7

##### COLABORADOR

Sr. Alejandro Miranda C.  
Ingeniero en Recursos Naturales Renovables,  
M.S., Ph.D.

Santiago, Chile  
2023

## ÍNDICE

RESUMEN	1
“SUMMARY”	2
INTRODUCCIÓN	3
METODOLOGÍA	6
Lugar de estudio	6
Materiales y métodos	8
RESULTADOS	15
DISCUSIÓN	22
CONCLUSIONES	25
BIBLIOGRAFÍA	26
APÉNDICES	31
APÉNDICE I. Código GEE: Obtención de trayectorias de uso de suelo de bosque nativo y matorral.	31

## RESUMEN

Diversos estudios han evidenciado la acelerada deforestación que ha afectado a los bosques nativos durante las últimas décadas, siendo la principal causa atribuida a el cambio de uso de suelo (CUS). Uno de los forzantes de los CUS son los incendios forestales, ya que no solo alteran significativamente la estabilidad de los ecosistemas, sino que también derivan en procesos erosivos y de degradación que propician el reemplazo de la cubierta vegetal original. El CUS más común es el paso de un ecosistema natural a uno productivo o construido. A nivel internacional existen normativas que prohíben el CUS en superficies afectadas por incendios forestales, en cambio en Chile, si bien existe instrumentos legales de planificación territorial, carecen de normativas restrictivas sobre temas relacionados a el CUS en superficies afectadas por incendios forestales. El presente estudio busca determinar los cambios de uso de suelo post incendio en matorrales y bosques nativos de Chile, con el fin de impulsar el desarrollo de políticas públicas que logren desincentivar el uso del fuego como una herramienta informal para despejar superficies. Para esto se utilizó la plataforma Google Earth Engine (GEE), en la cual se elaboró un flujo de trabajo que permitió reconstruir las cicatrices de incendios, para posteriormente identificar las superficies de bosque nativo y matorral quemado y sus usos de suelo posterior al incendio. Mediante los resultados obtenidos se logró identificar tanto temporal como geográficamente 35.873 ha de bosque nativo y 128.098 ha de matorral quemado, de las cuales, tanto para el bosque nativo como matorral, el 17% derivó en un CUS hacía una actividad productiva (forestal, agrícola, rotación cultivo pradera) o urbana. La evidencia recopilada en este estudio sirvió para apoyar el proyecto de Ley “Regula los cambios de uso de suelo y los actos administrativos y obras de subdivisión, urbanización y edificación de terrenos afectados por incendios forestales”. Permitiendo identificar los cambios de uso de suelo post incendio en matorrales y bosques nativos de la zona centro-sur de Chile entre los años 2000 y 2016.

**Palabras clave:** Incendios forestales, bosque nativo, matorral, deforestación, cambio de uso de suelo.

## SUMMARY

Various studies have shown the accelerated deforestation that has affected native forests in recent decades, the main cause being attributed to land use change (CUS). One of the drivers of CUS are wildfires, since they not only significantly alter the stability of ecosystems, but also lead to erosion and degradation processes that promote the replacement of the original vegetation cover. The most common CUS is the transition from a natural ecosystem to a productive or built one. At an international level, there are regulations that prohibit the change of land use in areas affected by forest fires, while in Chile, although there are legal instruments for territorial planning, they lack of restrictive regulations on issues related to CUS in areas affected by wildfires. This study seeks to determine the post-fire land use changes in Chilean scrubland and native forests, in order to promote the development of public policies that discourage the use of fire as an informal tool to clear surfaces. To achieve this, the Google Earth Engine (GEE) platform was used to develop a workflow to reconstruct the fire scars and subsequently identify the areas of native forest and burned scrubland and their post-fire land use. Through the results obtained, it was possible to identify both temporally and geographically 35,873 ha of native forest and 128,098 ha of burned scrubland, of which, both for native forest and scrubland, 17% resulted in a change of land use towards a productive activity (forestry, agricultural, prairie crop rotation) or urban. The evidence gathered in this study was used to support the draft Law "Regulates changes in land use and administrative acts and works of subdivision, urbanization and construction on land affected by wildfires". Allowing the identification of the post-fire land use changes in scrublands and native forests in the central-south zone of Chile between the years 2000 and 2016.

**Key words:** Wildfires, native forest, scrubland, deforestation, land use change.

## INTRODUCCIÓN

La acelerada deforestación que ha afectado a los bosques durante las últimas décadas ha traído consigo diversas consecuencias a nivel mundial, tales como un aumento de la desertificación, alteración del ciclo del agua, mayores concentraciones de CO<sub>2</sub>, modificación del clima global y pérdida de hábitat, biodiversidad y suelo (Schultz et al., 2017). En la actualidad uno de los factores más influyentes en el proceso de pérdida de bosques naturales es el cambio de uso de suelo (CUS). Los CUS representan una amenaza para los bosques, ya que no solo involucran una pérdida de cobertura vegetal, sino que además la fragmentación de ecosistemas, degradando y aislando su biodiversidad (Bennet y Sanuders, 2010). El CUS más común es el paso de un ecosistema natural a uno productivo o construido, estos ocurren, por ejemplo, cuando la cubierta vegetal original se reemplaza por otros usos de suelo modificando por completo la cobertura original, afectando la estructura y composición del ecosistema (Sistema Integral de Información Ambiental del Estado de Coahuila [SIIAEC], 2017). A nivel mundial, el aumento de la población y el consumo per cápita, han provocado una mayor demanda de recursos, provocando que los CUS más comunes ocurran producto de las actividades industriales agrícola-ganaderas (Brazeiro et al., 2008). En esta línea, se prevé que el CUS seguirá siendo el factor de mayor impacto en la pérdida de bosques y biodiversidad para fines de siglo (Sala et al., 2000).

Uno de los forzantes de los CUS y la pérdida de bosques, a escala global, son los incendios forestales (Curtis et al 2018). Los incendios durante siglos han sido utilizados como una herramienta para despejar superficies anteriormente dominadas por vegetación (Bustos et al., 2010). De igual manera en Chile, los incendios forestales se presentan como una de las principales amenazas para la biodiversidad y la vegetación nativa (Marquet et al., 2019), ya que no solo alteran significativamente la estabilidad de los ecosistemas, sino que también derivan en procesos erosivos y de degradación que propician el reemplazo de la cubierta vegetal original (Fernández et al., 2010).

En este sentido, se hace importante considerar que durante la última década el régimen de incendios en Chile ha variado en comparación a sus registros históricos, debido principalmente a un aumento en el tamaño y simultaneidad de los eventos, en conjunto a una extensión de las temporadas de incendios, superficie quemada y daños producidos (González et al., 2020). Las regiones que concentran la mayor cantidad de incendios y superficie quemada corresponden a las comprendidas entre Valparaíso y Araucanía, en las cuales se concentran el 92% de la ocurrencia de incendios y el 89% de la superficie quemada (González et al., 2020). Entre los años 1985 y 2018, el 32% de dichos incendios fueron provocados de manera intencional y el 56% accidental, además de 1% naturales y 11% de origen desconocido. Por lo que su ocurrencia se encuentra principalmente asociada a zonas de mayor intervención, tránsito y habitación de las comunidades humanas (Miranda et al., 2020).

Los incendios y CUS han contribuido a la extensa historia de degradación que afecta al matorral y bosque nativo chileno (Arancibia, Araya, y Mardones 2020), en donde como ejemplo, solo en la temporada de incendios 2017 se quemaron más de 90 mil hectáreas de bosque nativo (Marquet et al., 2019). Cerca del 20% del bosque nativo ha sido reemplazado por otros usos de suelo, encontrándose altamente fragmentado, comprometiendo su funcionalidad, resiliencia y haciéndolo más susceptibles a amenazas tales como el cambio climático y sequía (Miranda et al., 2017).

A nivel internacional, países como España y México, han desarrollados planes de protección para las superficies de bosque nativos afectados por incendios forestales prohibiendo el CUS en dichas superficies por al menos 20 años, para el caso de México, y 30 en el caso de España, con el fin de desincentivar la quema de bosques como una herramienta informal para despejar superficies que anteriormente se encontraban dominadas por vegetación (Ley N°43, 2003 y Ley general de desarrollo forestal sustentable, 2003). Específicamente para proteger de la especulación inmobiliaria a los terrenos afectados por incendios forestales (Morales, 2021)

Por otro lado, a nivel nacional, no existen políticas públicas que resguarden a los ecosistemas naturales de perturbaciones de origen antrópico, como los son los incendios. Si bien existen instrumentos legales que se aplican directamente sobre la planificación y ordenamiento del territorio, estos instrumentos de planificación territorial (Planes regionales de desarrollo Urbano, Planes Reguladores Intercomunales, Planes reguladores Comunales, Plan Seccional y Límite Urbano) carecen de normativas restrictivas sobre temas particulares como el cambio de cobertura del suelo en zonas afectadas por siniestros (Caviedes, 2017).

Si bien existe evidencia de cambio de uso de suelo en superficies afectadas por incendios forestales en Chile, esta es muy limitada, a pequeña escala y orientada únicamente a casos de cambio de uso de suelo hacia uso urbano (Caviedes, 2017). Por lo que si quiere avanzar en el desarrollo de una normativa nacional para frenar el CUS en las superficies de bosque nativo post incendio es necesario levantar información histórica a nivel nacional que evidencien dichos cambios de uso de suelo.

En esta línea, mediante este estudio se investigará sobre la distribución geográfica de los bosques y matorrales nativos quemados, con el fin de evidenciar cambios en el uso del suelo post incendio en un gradiente latitudinal extenso. Esto permitirá cuantificar la situación nacional e impulsar con evidencia tangible el desarrollo de políticas públicas a nivel nacional para proteger el bosque nativo quemado.



## **Objetivo General**

Determinar los cambios de uso de suelo post incendio en matorrales y bosques nativos de la zona centro-sur de Chile entre los años 2000 y 2016.

### **Objetivos específicos.**

1. Identificar las áreas de bosque nativo y matorral afectadas por incendios forestales en Chile.
2. Analizar las trayectorias del uso del suelo.
3. Cuantificar los cambios en bosques nativos y matorrales afectados por incendios forestales.

## METODOLOGÍA

### Lugar de estudio

El área de estudio comprende las regiones de Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins, Maule, Biobío (para efectos del estudio incluirá a la región de Ñuble), La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos. Estas regiones representan una superficie de 254.191 km<sup>2</sup> correspondiente al aproximadamente el 34% de la superficie continental del país.

La zona norte de Chile está, en su mayor parte, bajo un clima tropical, que se distribuye desde los Andes hasta la zona costera, en esta predominan las condiciones de climas secos y bajas precipitaciones a lo largo de todo el año. La zona central se caracteriza por un clima mediterráneo y con precipitaciones concentradas en las estaciones de invierno. En la zona sur se inicia una transición hacia climas más fríos y lluviosos, en donde la influencia de las bajas presiones provenientes del polo provoca altos montos de precipitaciones. (Luebert y Pliscoff, 2006) (Figura 1).

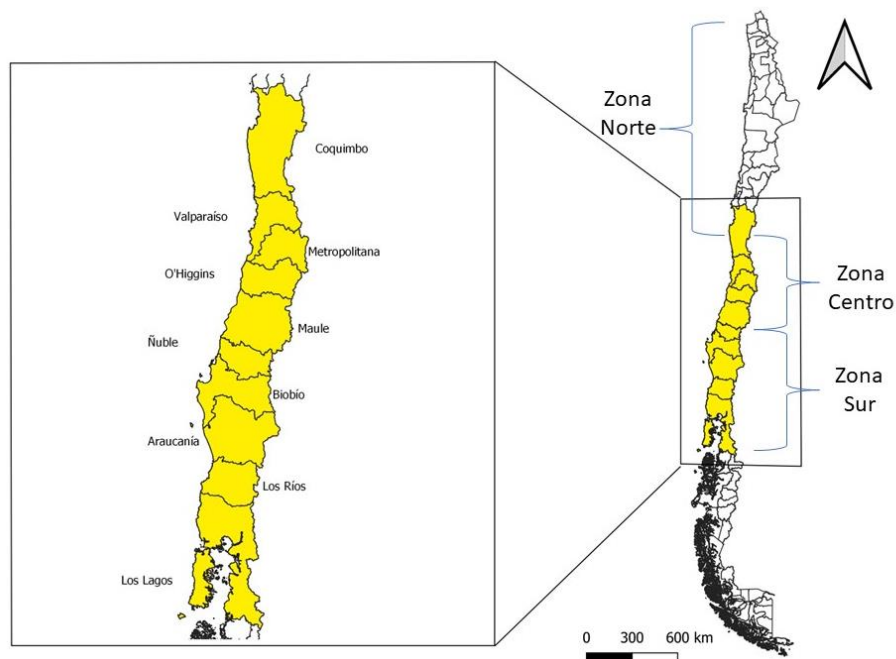


Figura 1. Regiones del área de estudio

## Régimen de incendios

Durante las últimas cuatro décadas, el promedio de la superficie afectada por incendios forestales es de 54.000 hectáreas por temporada, pero con valores extremos como lo fueron las temporadas 2014 y 2015 en donde se duplicó este promedio y, en el año 2017, donde se superó 10 veces el promedio histórico (González et al. 2020).

Las temporadas de incendios se han ampliado significativamente en la última década, abarcando, actualmente, gran parte del año. Antes del 2010, las temporadas de incendios ocurrían entre fines de noviembre y fines de abril del año siguiente. Mientras que en la actualidad inician en promedio a mediados de octubre y terminan a fines de mayo del año siguiente. Así, al comparar el período 2010-2018 con el de 1985-2009, la extensión promedio de la temporada de grandes incendios aumentó en 64 días, lo que significa un incremento de un 43%. (Gonzales et al, 2020).

Las principales superficies afectadas por los incendios forestales, a nivel nacional, corresponde a las coberturas de praderas y matorrales y, en menor escala, las de bosque nativo y plantaciones forestales, siendo la principal plantación afectada la de pino (*Pinus radiata*) (Corporación Nacional Forestal [CONAF], s.f.a).

Los bosques nativos chilenos se definen en la legislación forestal como formaciones vegetacionales con un estrato arbóreo constituido por especies nativas que presentan una altura de 2 metros y una cobertura de copas de al menos de un 10% para zonas áridas y semiáridas y mayor al 25% en zonas con condiciones más favorables (CONAF, 2020). Dentro de los tipos forestales de bosques nativos, el tipo forestal Lenga es el más abundante en el territorio nacional, seguido del Siempreverde, Coihue de Magallanes, y Roble – Raulí – Coihue (CONAF, 2017). Los bosques nativos cubren el 18,6% del territorio nacional y contienen formaciones xerofíticas (en centro-norte), bosques mediterráneos (en zona central) y bosques templados (en el sur) (Bahamóndez, 2020).

Por otro lado, los matorrales son formaciones vegetacionales dominadas generalmente por especies arbustivas o arbóreas menores a dos metros y con algunas especies arbóreas de más de dos metros (CONAF, 2020). En Chile se encuentran los matorrales espinosos, matorral esclerófilo, matorral caducifolio y matorral siempre verde. Están presente en la zona norte, centro y sur, (climas tropical, mediterráneo, templado y antiboreal) generalmente asociados a condiciones de bajas temperaturas o escasa precipitación (Luebert y Plissock, 2006).

## Materiales y métodos

Para llevar a cabo el primer objetivo específico de la investigación fue fundamental el listado de incendios de la Corporación Nacional Forestal (CONAF, s.f.b), el cual corresponde a un registro histórico de los incendios ocurridos en Chile (1985-2018). El listado contiene, para cada uno de los incendios, la fecha de inicio, fecha de control, tipo y cantidad de superficie quemada y la ubicación. Este último elemento es entregado a través de un punto de coordenadas geográficas, el cual entrega la ubicación aproximada del incendio.

Del listado de incendios se seleccionó los incendios forestales en los cuales CONAF haya declarado una superficie quemada total mayor a 10 ha, al menos 1 ha de bosque nativo quemado y que haya ocurrido entre la temporada 2000 y la temporada correspondiente al catastro actualizado de cada región (Cuadro 1).

Cuadro 1. Año de catastro base y actualizado y temporada de análisis por región.

Regiones	Catastro Base	Catastro Actualizado	Rango
	(Año)		(Temporada)
Coquimbo	1997	2014	2000-2014
Valparaíso	1997	2013	2000-2013
O'Higgins	1997	2013	2000-2013
Ñuble	1997	2015	2000-2015
Maule	1997	2016	2000-2016
Biobío	1997	2015	2000-2015
Araucanía	1997	2014	2000-2014
Los Lagos	1997	2013	2000-2013
Los Ríos	1997	2014	2000-2014
Metropolitana	1997	2013	2000-2013

El primer paso fue la obtención de las cicatrices de incendio, para esto se realizó el siguiente flujo de trabajo: i) localización de los incendios ii) elaboración de las imágenes post y pre-incendio, iii) aplicación de filtros espectrales y iv) exportación de los datos generados.

Los pasos señalados anteriormente se llevaron a cabo en Google Earth Engine (GEE). GEE es a una plataforma basada en una nube abierta para el análisis geoespacial, que pone a disposición un catálogo público de imágenes satelitales, topografías, cubiertas terrestres entre otros conjuntos de datos ambientales en un amplio rango histórico y en alta resolución. Además, de tener la capacidad de procesar una gran cantidad de datos e información en un menor período de tiempo (Long et al., 2019; Gorelick et al., 2017). Lo que lo transforma en una plataforma esencial para lograr ejecutar el flujo de trabajo que se proponen en este estudio.

La localización de cada incendio (i), tanto espacial como temporalmente, se obtuvo mediante el punto de referencia geográfica aproximado y las fechas de inicio y control del listado de incendios de CONAF.

Para el segundo paso (ii), se utilizó la información del satélite Landsat 5, para imágenes previas al 2013, y Landsat 8, para imágenes posteriores. Con dicha información se elaboró las colecciones de imágenes satelitales pre y post incendio. El rango de búsqueda de imágenes fue de tres meses y medio desde la fecha de inicio y control. Para los casos en que este rango de tiempo no fue suficiente para obtener una imagen clara del incendio, se extendió el período de búsqueda hasta dos años para las imágenes pre incendios y un máximo de seis meses para las imágenes post incendio. Para cada colección, los píxeles de nieve, nubes y sombras de nubes fueron excluidos. Finalmente se realizó un mosaico para obtener una imagen con las condiciones del paisaje las más cercanas a las fechas pre y post incendio posible.

Es importante considerar las restricciones metodológicas que presenta este proceso, ya que si bien, la utilización del listado de incendios de CONAF permite la ubicación tanto espacial como temporal de los incendios, no se pudo obtener la cicatriz o superficie quemada de todos los eventos. Esto debido principalmente a 2 factores: 1) La falta de superficie quemada, es decir no se detectaron incendios en el espacio geográfico ni temporal que se hacía referencia en el listado de CONAF; 2) Falta de disponibilidad de imágenes satelitales que permitieran evaluar correctamente la situación pre y/o post incendio, sobre todo para los eventos ocurridos en períodos cercanos al año 2000.

Con las imágenes finales pre y post incendio, se utilizaron los índices espectrales (iii) para identificar la superficie quemada, de la no quemada. Los índices utilizados corresponden a: Relative Delta Differenced Normalized Burn Ratio (RdNBR) (Miller y Thode, 2007), Normalized Differenced Vegetation (NDVI) (Stroppiana et al., 2009) e Infrarrojo cercano

(NIR) (Cuadro 2), siendo estos índices comúnmente utilizados para delimitar la superficie afectada por incendios (Long et al., 2019). Los valores otorgados a dichos índices dependieron de cada incendio y de factores tales como; la ubicación del evento, época del año, severidad, entre otros. Adicionalmente, se aplicó un filtro de área para identificar únicamente las superficies quemadas con área mayor a 10 ha, siendo esta la unidad mínima cartografiable. Dicho proceso fue acompañado de una validación visual, la cual consistió en comprobar que la superficie, que se identificaba como quemada por los índices espectrales, estuviera correctamente delimitada de acorde a lo que era posible visualizar en las imágenes satelitales obtenidas. De esta forma se aseguró la correcta aplicación y delimitación de la superficie quemada.

Cuadro 2. Índices y fórmulas utilizadas en esta investigación.

Índice	Fórmula
Relative Delta Differenced Normalized Burn Ratio (RdNBR)	$\frac{PreFireNBR - PostFireNBR}{\sqrt{( \frac{PreFireNBR}{1000} )}}$
Normalized Differenced Vegetation (NDVI)	$\frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$

La vectorización de las superficies quemadas permitió integrar nueva información como: el promedio del índice NDVI pre y post incendio, el valor mínimo de infrarrojo cercano (NIR) después del evento, la temporada, el área de la cicatriz en hectáreas y la fecha de inicio y control.

Las superficies de bosque nativo y matorral afectadas por incendios se obtuvieron mediante la sobreposición de las cicatrices con las superficies de bosque nativo y matorral. Dichas superficies fueron obtenidas a partir del catastro base de uso de suelo y vegetación de CONAF para cada una de las regiones (CONAF, s.f.c.) (Cuadro 1). De esta forma se cuantificó las superficies de bosque nativo y matorral quemadas en cada temporada y región (Figura 2)

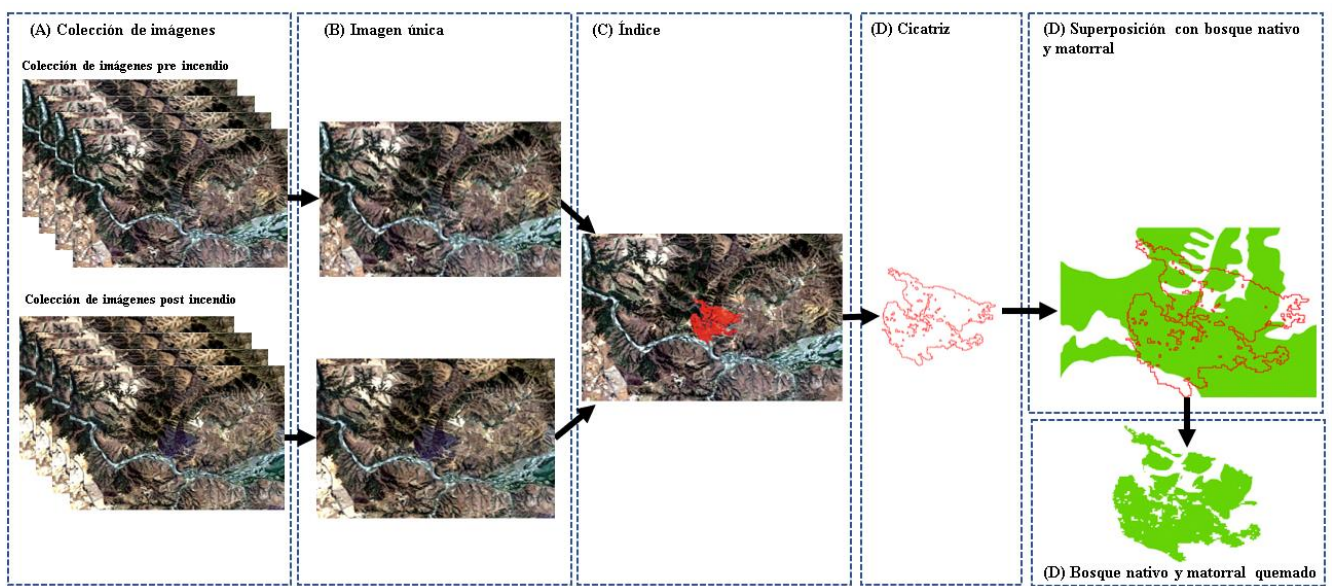


Figura 2. Flujo de trabajo para la obtención de las cicatrices.

Para abordar el segundo objetivo específico, se reconstruyó las trayectorias del uso del suelo de las superficies de bosque nativo y matorral afectadas por los incendios. Se entenderá por trayectoria del uso del suelo, como la variación o no variación en los usos de suelo que presenten las superficies de bosque nativo y matorral a lo largo del tiempo. Esta variación es obtenida por las coberturas de uso de suelo y vegetación de los catastros bases y actualizados de CONAF (CONAF, s.f.c.) (Cuadro 2) y las zonas urbanas consolidadas del Ministerio de Vivienda y Urbanismo del año 2019 (Ministerio de Vivienda y Urbanismo [MINVU], 2019). La unidad mínima cartografiada de los materiales cartográficos utilizados fue de 30x30 metros.

A través de GEE se realizó un análisis por píxel del bosque nativo y matorral quemado. Dicho análisis consistió en: i) rasterización, ii) caracterización, iii) reconstrucción de trayectorias y iv) exportación. En el Anexo 1 se presenta el código utilizado para el desarrollo del presente análisis.

Primero se rasterizó (i) los elementos cartográficos (superficie de bosque nativo y matorral quemada, catastro actualizado y zonas urbanas consolidadas). Luego se caracterizó (ii) cada píxel de las superficies de bosque nativo y matorral quemado con las variables de uso de suelo pre incendio, post incendio y uso urbano (Cuadro 3). De esta forma, se reconstruyó (iii) la trayectoria de cada píxel, en donde, la situación pre incendio está dada por el catastro base y la post incendio por el catastro actualizado y el área urbana consolidada (Figura 3). De esta forma fue posible identificar el uso de suelo pre y post incendio de cada píxel.

Cuadro 3. Variables para el análisis por píxel.

Variables	Origen
Uso de suelo pre incendio	Catastro base de la región respectiva. - CONAF
Uso de suelo post incendio	Catastro actualizado de la región respectiva. - CONAF
Uso urbano	Áreas urbanas consolidadas -MINVU

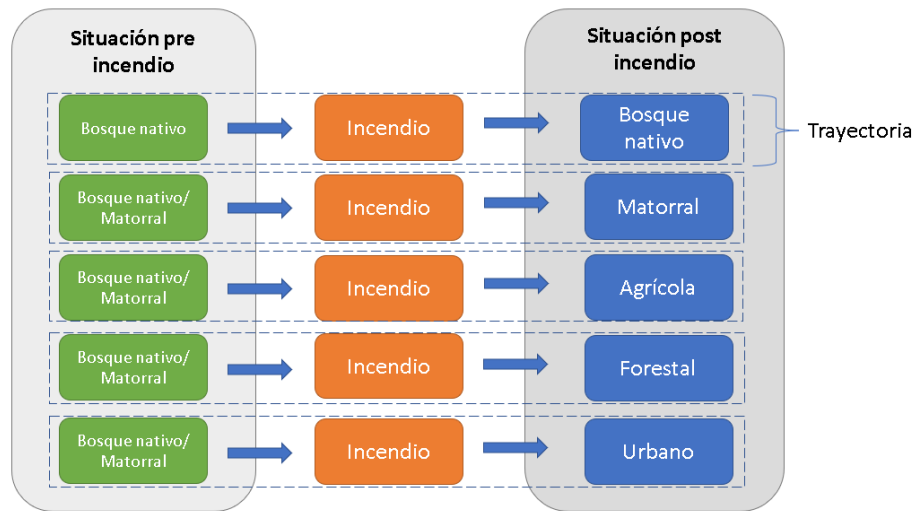


Figura 3. Trayectorias de uso de suelo.

Posteriormente, los píxeles colindantes y que tuvieran la misma trayectoria, se agruparon formando superficies con trayectorias homogéneas (Figura 4). Finalmente se vectorizó y exportó (iv) las superficies con las trayectorias, de esta forma se logró reconstruir las trayectorias de cada píxel de bosque nativo y matorral quemado.



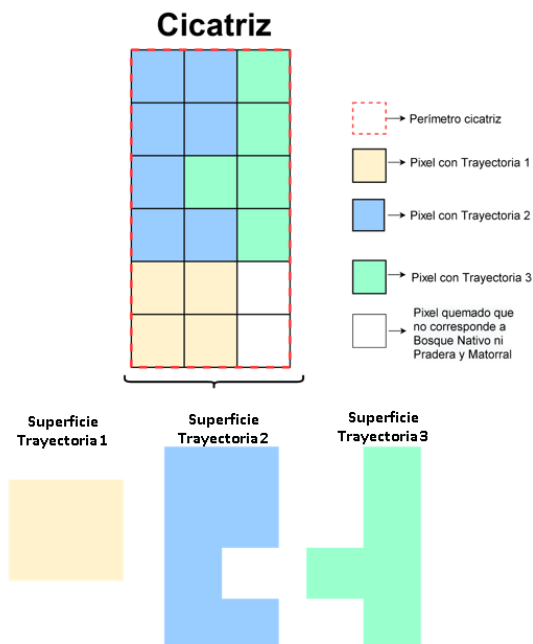


Figura 4. Proceso de obtención de las superficies con trayectorias.

Por último, se categorizó cada tipo de trayectoria obtenida con el fin de cuantificar los cambios en el bosque nativo y matorral quemado. Lo cual permitió identificar las regiones que presentan las mayores áreas de bosque nativo y matorral reemplazadas hacia sistemas productivos y construido, dilucidando así, el escenario de cambio de uso de suelo post incendio a nivel regional y nacional.

En la Figura 5, se presenta el flujo de trabajo con los datos de entrada (inputs) necesarios para el funcionamiento del código y los datos de salida (outputs) que se obtienen mediante la ejecución del código de GEE.

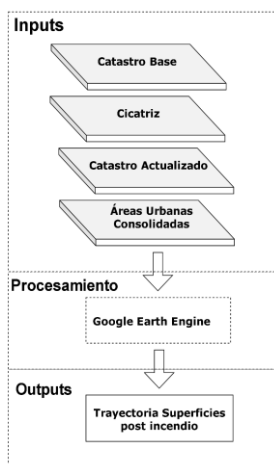


Figura 5: Flujo de trabajo.

### **Validación de datos**

Se validó los resultados obtenidos utilizando una muestra aleatoria correspondiente al 5% del total de las cicatrices que hayan presentado CUS de tipo urbano, agrícola o forestal en cada una de las regiones. Para esta validación, se comparó la trayectoria obtenida a través de la aplicación de la metodología con la trayectoria identificada mediante la revisión de la serie temporal de imágenes satelitales. Esta revisión de la serie temporal se realizó mediante el software Google Earth Pro y consistió en una fotointerpretación de los cambios en los usos de suelo, es decir se revisó visualmente cada una de las trayectorias.

Las regiones de Coquimbo y Los Ríos, debido al bajo número de incendios presentados, no fueron considerados para el proceso de validación.

Un factor importante por considerar es que, los incendios ocurridos en las temporadas más próximas a la fecha del catastro base, tienen una menor disponibilidad de imágenes satelitales de alta calidad dificultado la una correcta aplicación de la fotointerpretación. Por lo que solo se evaluaron únicamente las cicatrices que tuvieran disponibilidad de imágenes satelitales que permitieran realizar una correcta validación.

El porcentaje de efectividad de la validación de datos está ligado directamente a la precisión de los catastros base y actualizado, las cicatrices de incendio y las áreas urbanas consolidadas, ya que estos son los materiales con los cuales se identificaron las trayectorias.

## RESULTADOS

Mediante los resultados obtenidos se identificó tanto temporal como geográficamente las superficies de bosque nativo y matorral afectadas por incendios forestales. De las 1.164 cicatrices de incendio reconstruidas, se obtuvo una superficie quemada de 128.098 hectáreas de matorral y 35.873 hectáreas de bosque nativo, de las cuales tanto para el matorral y bosque nativo, el 17% derivó en un cambio de uso suelo hacia una actividad productiva (forestal, agrícola, rotación cultivo pradera) o urbana.

Tras la realización de la validación de datos, se obtuvo que las regiones con mayor porcentaje de efectividad, es decir con el mayor porcentaje de trayectorias validadas, son: Metropolitana, O'Higgins y Valparaíso. Mientras que las regiones con un menor porcentaje de trayectorias validadas son la de Maule, Biobío y Araucanía.

Cuadro 4. Validación de los resultados

Región	Incendios con trayectoria a validar (N°)	Casos validados correctamente (%)
Coquimbo	0	-
Valparaíso	13	69,2
Metropolitana	9	77,8
O'Higgins	12	75
Maule	6	50
Biobío	7	57,1
Arauca	6	66,7
Los Ríos	0	-
Los Lagos	4	75
Total	58	67,3

Los incendios reconstruidos correspondieron al 51% del total de los incendios reportados en el listado de incendios de CONAF bajo el mismo periodo de análisis, siendo las regiones de O'Higgins, Metropolitana y Maule las con el mayor porcentaje de incendios reportados reconstruidos (Cuadro 5), mientras que las regiones de Valparaíso, Metropolitana y de O'Higgins fueron la con el mayor número incendios reconstruidos (Cuadro 6).

Cuadro 5. Porcentaje de incendios reconstruidos de los reportados del listado de CONAF.

Temporada	Región									
	IV	V	RM	VI	VII	VIII	IX	X	XIV	Total
	(%)									
2000	-	73	100	67	50	11	29	0	-	55
2001	0	92	63	67	100	71	40	0	0	56
2002	33	75	75	100	60	54	33	7	24	32
2003	100	70	83	85	67	38	40	0	-	66
2004	63	36	86	92	77	38	53	6	20	49
2005	50	77	81	90	89	50	23	12	9	61
2006	100	45	82	100	83	75	75	17	0	50
2007	20	78	77	86	-	75	100	9	0	59
2008	100	55	67	100	70	29	56	26	21	39
2009	0	76	100	82	83	47	61	33	21	54
2010	0	79	38	97	64	52	50	0	-	67
2011	0	53	81	86	85	25	67	0	0	64
2012	0	41	0	95	67	55	30	26	0	42
2013	25	78	91	89	67	67	20	0	0	60
2014	75	-	-	-	71	70	66	-	27	65
2015	-	-	-	-	71	12	-	-	-	25
2016	-	-	-	-	27	-	-	-	-	27
Total	37	64	75	90	70	43	48	17	19	51

Cuadro 6. Número de incendios reconstruidos por región.

Región	Incendios	
	Reconstruidos	Porcentaje
	(N°)	(%)
Coquimbo	23	2
Valparaíso	245	16
Metropolitana	170	16
O'Higgins	129	22
Maule	27	12
Biobío	83	12
Araucanía	19	10
Los ríos	130	2
Los lagos	111	8
Total	1164	100

Las regiones de Biobío, O'Higgins y Valparaíso concentraron el 23%, 20% y 14% de la superficie de bosque nativo quemado respectivamente, mientras el 29%, 23% y 21% del matorral quemado en las regiones de O'Higgins, Valparaíso y Metropolitana respectivamente (Figura 6).

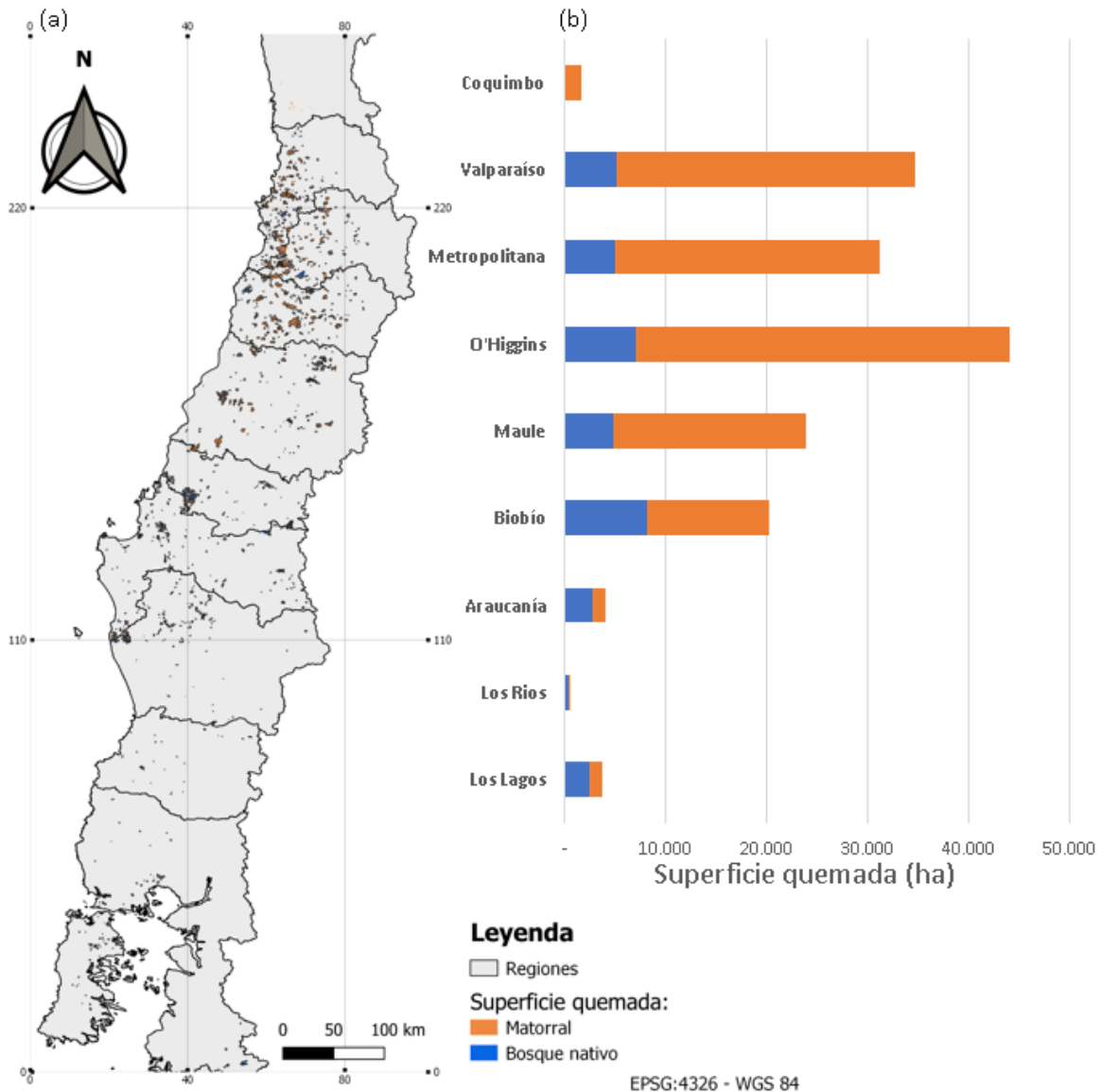


Figura 6. Superficies de bosque nativo y matorral afectada por incendios forestales entre los años 2000 y 2016. (a) Distribución de superficies de bosque nativo y matorral quemada. (b) hectáreas de bosque nativo y matorral quemadas por región.

Se contrastó dichas superficies con las reportadas en listado de incendio de CONAF en el mismo periodo. La superficie total de bosque nativo quemado reportado fue de 113.299 ha, por lo que a través de estudio se identificó una cantidad de superficie correspondiente al 32% del total reportado por CONAF (Cuadro7).

Cuadro 7. Superficie identificada de bosque nativo quemado y superficie reportada por CONAF.

Región	Superficie		
	Identificada	Reportada	Sin reconstruir
		(ha)	
Coquimbo	-	880	880
Valparaíso	5.190	16.080	10.890
Metropolitana	5.058	9.540	4.482
O'Higgins	7.038	15.143	8.105
Maule	4.858	15.109	10.251
Biobío	8.152	23.589	15.437
Araucanía	2.802	23.593	20.791
Los Lagos	2.437	7.956	5.519
Los Ríos	338	1.409	1.071
Total	35.873	113.299	77.426

Por otro lado, en el caso del matorral, la superficie reportada en el listado de CONAF fue de 97.421 ha de matorral quemada. Esto significa que la superficie quemada identificada en este estudio es mayor (131%) a la declarada por CONAF bajo mismo periodo de tiempo. Siendo Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins y Maule las regiones en las cuales la superficie reconstruida fue mayor a la reportada por CONAF (Cuadro 8).

Cuadro 8. Superficie identificada de matorral quemado y superficie reportada por CONAF.

Región	Superficie		
	Reconstruida	Reportada	Sin reconstruir
		(ha)	
Coquimbo	1.723	2.477	754
Valparaíso	29.463	24.241	(-)5.222
Metropolitana	26.172	10.076	(-)16.096
O'Higgins	36.960	27.402	(-)9.558
Maule	19.060	12.447	(-)6.613
Biobío	12.079	13.061	982
Araucanía	1.247	3.337	2.090
Los Lagos	1.281	37.25	2.444
Los Ríos	113	656	543
Total	128.098	97.421	(-)30.677

A nivel nacional, el 51% de la superficie de bosque nativo afectada por incendios tuvo una trayectoria en la cual mantuvo su cobertura inicial, es decir, no hubo cambio de uso de suelo post incendio forestal (Cuadro 9). El 32% tuvo una trayectoria desde bosque nativo hacia matorral, mientras que el 17% restante tuvo una trayectoria en la que hubo un cambio de uso de suelo hacia una actividad productiva o de uso urbano, ya sea hacia un uso de suelo forestal, agrícola o urbano. De estas trayectorias, la con mayor cantidad de superficie implicada fue la de cambio de uso de suelo hacia forestal, la cual represento el 91% de las hectáreas con cambio de uso de suelo y el 15% del total (Figura 7).

Cuadro 9. Trayectoria estimada de cambio de uso del suelo post incendio forestal en el bosque nativo en Chile

Trayectoria	Región									Total
	IV	V	RM	VI	VII	VIII	IX	XIV	X	
						(ha)				
Sin cambio	0	3.142	3.822	4.448	3.081	1.723	1.334	87	653	18.289
Matorral	0	1.879	1.214	1.646	1.088	3.090	612	222	1.690	11.441
Urbano	0	5	5	2	0	3	0	0	0	16
Agrícola	0	45	1	53	0	0	7	9	0	552
Forestal	0	70	15	825	673	3.283	525	21	87	5.499
Otros	0	0	1	9	7	51	0	0	6	75
Total	0	5.190	5.058	7.038	4.858	8.152	2.802	338	2.437	35.873

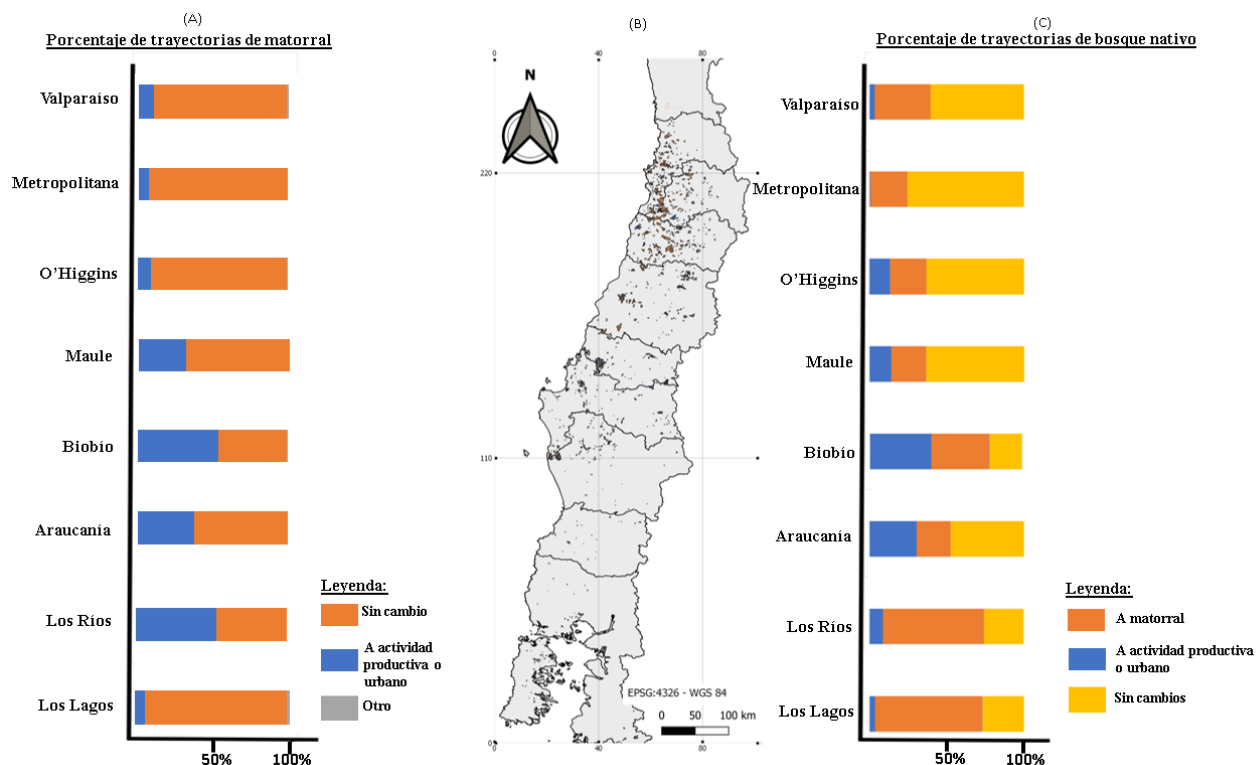


Figura 7. Superficie de matorral y bosque nativo afectado por incendios forestales en Chile (2000-2016). (A) Porcentaje según trayectoria del matorral quemado. (B) Distribución de la superficie de bosque nativo y matorral quemado. (C) Porcentaje según trayectoria del bosque nativo quemado.

En cuanto al matorral, a nivel nacional el 83% afectada por incendios no presentó cambios de uso de suelo en su trayectoria manteniendo su cobertura original (Cuadro 10). Por otro lado, el 17% de la superficie restante tuvo una trayectoria en la que hubo un cambio de uso de suelo hacia una actividad productiva o de uso urbano. De estas trayectorias, el cambio de uso de suelo hacia uso forestal fue la que representó la mayor cantidad de hectáreas implicadas con el 76% de la superficie con cambio de uso de suelo (Figura 7).

Cuadro 10. Trayectoria matorral en Chile.

Trayectoria	Región									Total
	IV	V	RM	VI	VII	VIII	IX	XIV	X	
	(ha)									
Matorral	1.659	26.154	24.366	33.530	13.000	5.538	773	52	1.171	106.243
Urbano	-	261	394	49	4	8	-	-	11	727
Agrícola	-	625	1.078	1.824	790	51	38	-	-	4.405
Forestal	20	1.998	312	1.470	5.264	6.464	437	61	70	16.095
Otros	43	425	22	87	3	19	-	-	30	628
Total	1.723	29.463	26.172	36.960	19.060	12.079	1.247	113	1.281	128.098



En la Figura 8, se exponen casos de incendios forestales sobre bosque nativo y matorral con trayectorias hacia uso urbano y agrícola, con el fin de poder visualizar las trayectorias y su evolución en el tiempo.

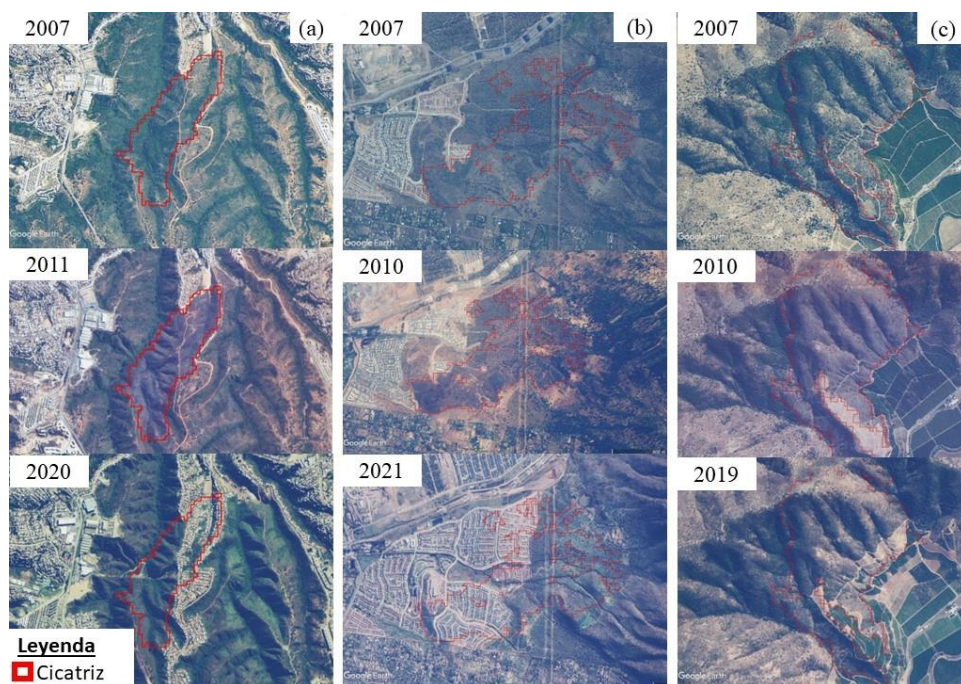


Figura 8. Trayectoria de uso de suelo post incendio forestal. (a) Trayectoria hacia uso de suelo urbano, región Metropolitana. (b) Trayectoria hacia uso de suelo a urbano, región de Valparaíso. (c) Trayectoria hacia uso de suelo agrícola, región de Valparaíso.

## DISCUSIÓN

El trabajo realizado entrega evidencia de cambios de uso de suelo en las superficies de bosque nativo y matorral post incendios forestales. Esto se logró mediante la identificación de las áreas afectadas por incendios forestales, la evolución de su uso de suelo tras el evento y la cuantificación de las superficies que presentaron una trayectoria hacia un uso de suelo con actividades productivas o uso urbano.

Los resultados de esta investigación demuestran que, en ocasiones, tras la ocurrencia de incendios forestales las superficies de bosque nativo y matorral han sido reemplazadas por otros usos de suelo. Estos hallazgos respaldan diversos estudios y publicaciones entorno a las amenazas de dichas superficies frente la expansión urbana, agrícola y forestal y evidencian la importancia de avanzar en materia de fiscalización y monitoreo de las superficies de bosque nativo y matorral afectada por incendios forestales.

Acorde a los registros de CONAF (s.f.a), el matorral es la cobertura vegetal más afectada por incendios forestales, por sobre el bosque nativo, en cuanto a número de hectáreas quemadas se refiere. Esto coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio, en el cual, la superficie de matorral quemada es mayor a la de bosque nativo (Figura 6).

Con respecto a los casos de cambio de uso de suelo de bosque nativo y matorral hacia uso urbano son evidenciados por otros autores, como es el caso de Caviedes (2017), que señala que existe evidencia de desarrollo de proyectos urbanísticos en superficies afectadas por incendios forestales, específicamente en regiones con un importante desarrollo urbanístico, como lo son, la región de Valparaíso, Metropolitana y Los Lagos. Esto ha llevado a que, durante las últimas décadas, haya una difusión de los límites entre lo urbano, rural y natural (Fuentes y Pezoa, 2017), siendo las regiones Metropolitana y de Valparaíso claro ejemplo de esto, en donde, debido a este desarrollo urbanístico y el contexto socioeconómico (Jiménez et al., 2019), los límites de los asentamientos humanos han ido adentrándose en los ecosistemas naturales, y como consecuencia, estos sectores han sido los más afectados y expuestos a los incendios forestales y sus efectos (Kulma, 2019). Siendo estas expansiones, generalmente, impulsada por las tomas de terrenos, parcelaciones y el desarrollo inmobiliario (Hidalgo y Zunino, 2011 y De Matheus et al., 2018).

Los casos de cambio de uso de suelo desde bosque nativo y matorral hacia actividades agrícolas identificados mediante el presente estudio, respaldan lo señalado por FAO (Food and Agriculture Organization, 2022) que identifica a la expansión de las actividades agrícolas, impulsada por el aumento en la demanda de alimentos, como una de las principales causas de pérdida de bosques nativos.

Por otro lado, los cambios de uso de suelo hacia actividades forestales en la región del Biobío, que para efectos de este estudio considera tanto la actual región de Ñuble como del Biobío, concentró la mayor cantidad de hectáreas con dichos cambios, lo cual coincide con el escenario regional descrito por Fawas (2015), quien señala que el sector rural de las regiones de Biobío y Ñuble ha experimentado, durante las últimas décadas, una expansión de la industria forestal sin precedentes a nivel nacional.

A través de estos resultados, es posible evidenciar, desde una perspectiva de uso de suelo, la capacidad de recuperación del bosque nativo y matorral ante incendios forestales, ya que en ambos casos la mayor parte de la superficie quemada no presentó cambio de uso de suelo. Esto coincide en parte con lo señalado por Smith (2022) quien menciona que los bosques mediterráneos esclerófilos de Chile logran volver a su estado pre incendio en un periodo entre los 10 y 20 años, para lo cual es clave mantener los remantes de vegetación y evitar el desarrollo de actividades productivas y/o urbanistas en superficies de bosque nativo quemado.

Es importante tener en consideración que la precisión del presente estudio está ligada a los catastros de uso de suelo y vegetación y área urbana consolidada y la secuencialidad de los eventos (Figura 9) esto debido principalmente a la baja periodicidad de los catastros. Este problema también es reconocido por CONAF (2020), que señala que debido a que los periodos de actualización son muy extensos, se dificulta hacer seguimiento a tiempo de real de los cambios de uso de suelo.

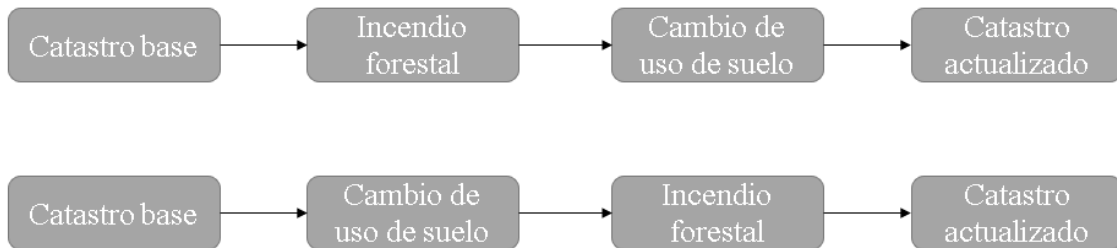


Figura 9. Secuencialidad de eventos en una trayectoria.

Lo expuesto anteriormente, evidencia la necesidad y urgencia de avanzar en el desarrollo de políticas públicas orientadas a disminuir los riesgos de incendios y la prohibición de cambio de uso de suelo tras incendios forestales, con el fin de desincentivar su uso como una herramienta informal para habilitar o despejar superficies y su posible reemplazo hacia usos productivos y/o urbanos. Es por esto, que la utilización de materiales elaborados por instituciones públicas, como CONAF y el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, fue esencial para otorgar un peso institucional a la hora de generación de evidencia para impulsar de políticas públicas.

Adicionalmente, se desprende la importancia de impulsar el desarrollo científico en torno a los incendios forestales, con el fin de poder hacer frente a una de las principales amenazas del país en materia ambiental y socioeconómica. En concreto, la elaboración de material cartográfico actualizado y periódico de las superficies vegetacionales de Chile, con el fin de

poder realizar un monitoreo continuo de las trayectorias de las superficies afectadas por incendio.

Finalmente, la evidencia de cambio de uso de suelo recopilada a través del presente estudio permitió apoyar el proyecto de Ley “ Regula los cambios de uso de suelo y los actos administrativos y obras de subdivisión, urbanización y edificación de terrenos afectados por incendios forestales” patrocinada por las Diputadas Cristina Girardi y Alejandra Sepúlveda, en conjunto con los Diputados Gabriel Ascencio, Félix González, Diego Ibáñez y Gonzalo Winter, que busca desincentivar el uso de los incendios forestales como herramienta informal para generar cambios en el uso de los espacios siniestrados, dando 30 años de plazo para que se produzca la regeneración, reconversión o recuperación de los terrenos afectados que, en caso de ser aprobado, se lograría dar un primer paso concreto en materia de desincentivar el uso de fuego como una herramienta informal para el despeje de superficies y situaría a Chile a la altura de países como España y México en el ámbito de dicha normativa.

## CONCLUSIONES

Los incendios forestales han sido una de las principales amenazas para los bosques nativos y matorrales en Chile, ya que, además de provocar procesos erosivos y afectar la estabilidad de los ecosistemas, estos pueden derivar en procesos de cambio de uso de suelo hacia actividades productivas, como la agricultura o forestal, y urbanos.

A través de los resultados obtenidos en el presente estudio, se evidencia la existencia de casos de cambio de uso de suelo en las superficies de matorral y bosque nativo afectado por incendios forestales a lo largo de la zona centro-sur de Chile. Esto mediante la identificación y cuantificación de los cambios de usos de suelo hacia usos urbanos y productivos, como lo son las actividades agrícolas y forestales. Demostrando la importancia de avanzar en el monitoreo de las superficies vegetacionales afectadas por incendios forestales, a través del desarrollo de material cartográfico actualizado y periódico de estas superficies, además de elaborar un marco regulatorio para la prohibición del cambio de uso de suelo post incendios, con el fin de desincentivar la utilización del fuego como una herramienta informal para habilitar superficies que anteriormente se encontraban cubiertas con vegetación.

Finalmente, la utilización del software GEE para el análisis de datos geospaciales, en conjunto a la metodología utilizada en el presente estudio, permite replicar este proceso a medida que haya actualizaciones del registro de incendio y de los catastros de uso de suelo y vegetación, facilitando el monitoreo de la superficie de bosque nativo y matorral quemada y la detección de cambios de uso de suelo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arancibia, J., Araya, J., & Mardones, Z. (2020). Análisis vegetacional del bosque nativo en la región mediterránea de la zona central de Chile zona de estudio valle de Colliguay. *Investigaciones Geográficas*, (59), 105-119. <https://doi.org/10.5354/0719-5370.2020.55371>
- Bahamónides, C., Rose, J., & Rodrigo, O. (2020). *El bosque nativo en Chile. Resultados del inventario forestal nacional período 2001-2015*. INFOR. Recuperado de: <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/30450>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN). (s.f.). *Clima y vegetación Chile Nuestro País*. <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/clima.htm>
- Brazeiro, A., Achkar, M., Toranza, C., & Barthesagui, L. (2008). *Efecto de los cambios globales sobre la biodiversidad*. En P. I. Desarrollo, L. Fernández, & A. Volpedo (Edits.). Programa CYTED. Recuperado de: [http://server.ege.fcen.uba.ar/pcourtalon/PDF5Bo\\_et\\_al\\_2008.pdf](http://server.ege.fcen.uba.ar/pcourtalon/PDF5Bo_et_al_2008.pdf)
- Brown, G., Bennet, A., & Potts, J. (2010). Habitat Fragmentation and Landscape Change. N. S. Sodhi, & P. R. Ehrlich. *Conservation Biology for All*, 5 (35), 8-106. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199554232.003.0006>
- Bustos-Schindler, C., González, M., Le Quesne, C., & Solari, E. (2010). Historia preliminar de incendios y prácticas (multi) culturales en la cuenca media del río Cachapoal (34° S), Chile central. *Scielo*, 31(1), 17-27. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002010000100003>
- Caviedes, J. (2017). Construyendo cenizas. ¿Son utilizados los incendios forestales como una herramienta informal para la expansión urbana de Chile central? [Tesis Magister, Universidad Católica de Chile]. <https://estudiosurbanos.uc.cl/exalumnos/construyendo-sobre-cenizas-son-utilizados-los-incendios-forestales-como-una-herramienta-informal-para-la-expansion-urbana-de-chile-central/>
- Corporación Nacional Forestal (CONAF). Departamento de Monitoreo de Ecosistemas Forestales. (2021, julio). *Consolidados de documentos del proyecto de Actualización y Monitoreo de los Catastros de los Recursos Vegetaciones de Chile*. <http://www.conaf.cl/nuestros-bosques/bosques-en-chile/catastro-vegetacional/>
- Corporación Nacional Forestal (CONAF). (2017, noviembre). *Bosques de Chile*. <https://www.conaf.cl/nuestros-bosques/bosques-en-chile/>

- Corporación Nacional Forestal (CONAF) (2021, noviembre). *Catastro de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile*. Recuperado de: [https://sit.conaf.cl/varios/Catastros\\_Recursos\\_Vegetacionales\\_Nativos\\_de\\_Chile\\_Nov2021.pdf](https://sit.conaf.cl/varios/Catastros_Recursos_Vegetacionales_Nativos_de_Chile_Nov2021.pdf)
- Corporación Nacional Forestal (CONAF). (2018, octubre). *Catastro y Actualización de los Recursos Vegetacionales y Uso de la Tierra, Chile*. Obtenido de Infraestructura de datos geoespaciales de Chile (IDE): <https://ide.minagri.gob.cl/geoweb/2019/11/22/planificacion-catastral/>
- Corporación Nacional Forestal (CONAF). (2020). *Consolidados de documentos del proyecto de Actualización y Monitoreo de los Catastros de los Recursos Vegetaciones de Chile*. Reportes Metodológicos Departamento de Monitoreo de Ecosistemas Forestales. <https://biblioteca.digital.gob.cl/>
- Corporación Nacional Forestal (CONAF) (s.f.b). *Infraestructura de datos geoespaciales de Chile (IDE). Estadísticas históricas, Chile*. <https://www.conaf.cl/conaf/seccion-stadisticas-historicas.html>
- Corporación Nacional Forestal (CONAF). (s.f.c). *Fichas Regionales Catastro Vegetacional. Sistema de información territorial, Chile*. <https://sit.conaf.cl/>
- Curtis, P., Slay, C., Harris, N., Tyukavina, A., & Hansen, M. (2018). Classifying drivers of global forest loss. *Science*, 361(6407), 1108-1111. [doi:10.1126/science.aau3445](https://doi.org/10.1126/science.aau3445).
- De la Barra, 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. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0188117>
- De Matheus, L., Zunino, H., & Huiliñir, V. (2018). El negocio de la conservación ambiental: cómo la naturaleza se ha convertido en una estrategia de acumulación capitalista en la zona andino-lacustre de Los Ríos, sur de Chile. *Scripta Nova: revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, 22(583), 1-25. <https://doi.org/10.1344/sn2018.22.19021>
- Fawas, M. (2000). Expansión forestal en Nuble y reestructuración social y productiva a nivel local. Percepción de los actores. *Tiempo y Espacio*, 2000(9-10), 53-73. <https://revistas.ubiobio.cl/index.php/TYE/article/view/1628>
- Fernández, I., Morales, N., Olivares, J., Gomez, M. & Montenegro, G. (Eds) (2010). Restauración ecológica para ecosistemas nativos afectados por incendios forestales. *Ecomabi*. Recuperado de: [https://www.conaf.cl/wp-content/files\\_mf/1363716217res\\_baja.pdf](https://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1363716217res_baja.pdf)

- Food and agriculture organization of the United Nations (FAO) (2022). *Remote Sensing Survey. FAO Forestry Paper No.186*. Roma. 92p. Recuperado de: <https://doi.org/10.4060/cb9970en>
- González , C., Herrera, L., & Montoya, D. (2016). Estudio Diagnóstico de la producción científica bibliográfica en los países de la Alianza del Pacífico. *Espacios*, 37(21), 9.
- González, M., Sapiains; R., Gómez-González; S., Garraud; R., Miranda, A., Galleguillos, M., et al. (2020). *Incendios en Chile: causas, impactos y resiliencia*. Center for Climate and Resilience Research. Recuperado de: <https://www.cr2.cl/wp-content/uploads/2020/01/Informe-CR2-IncendiosforestalesenChile.pdf>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyschenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *ELSEVIER*, 202, 18-27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Hidalgo, R., & Zunino, H. (2011). La urbanización de las áreas periféricas en Santiago y Valparaíso: El papel de las relaciones de poder en el dibujo de la geografía socioresidencial. *Scielo*, 37(111), 79-105. <http://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612011000200004>
- Jiménez, V., Hidalgo, R., Campesino, A., & Alvarado, V. (2018). Normalización del modelo neoliberal de la expansión residencial más allá del límite urbano en Chile y España. *Scielo*, 44(132). <http://dx.doi.org/10.4067/s0250-71612018000200027>
- Kulma, D. (2019). La sostenibilidad de la reconstrucción 2014-2019 tras el Gran incendio en Valparaíso: una mirada desde la habitabilidad, resiliencia y preparación en la gestión de desastres. *SIT Digital Collections (ISP)*. [https://digitalcollections.sit.edu/isp\\_collection/3243](https://digitalcollections.sit.edu/isp_collection/3243)
- Lara, A. (2017). *La urgencia de restaurar nuestro bosque nativo y los ecosistemas en Chile*. <http://www.cr2.cl/la-urgencia-de-restaurar-nuestro-bosque-nativo-y-los-ecosistemas-en-chile-por-antonio-lara/>
- Ley General 195/2018, de 5 de junio, Desarrollo forestal Sustentable. *Diario Oficial de la Federación*, 28 de abril del 2022. [www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/html/wo120913.html](http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/html/wo120913.html)
- Ley 43/2003, de noviembre, de Montes. *Boletín Oficial del Estado*, 280, de 22 de noviembre 2003, 21339. <https://www.boe.es/eli/es/l/2003/11/21/43/con>
- Long, T., Zhang, Z., He, G., Jiao, W., Tang, C., Wu, B., et al. (2019). 30 m Resolution Global Annual Burned Area Mapping Based on Landsat Images and Google Earth Engine. *Remote sens.* 11(5), 489. <https://doi.org/10.3390/rs11050489>



- Luebert, F., & Plischoff, P. (2018). *Sinopsis bioclimática y vegetal de Chile*. Biodiversidad. Editorial Universitaria. Recuperado de: <https://www.uchile.cl/publicaciones/141285/sinopsis-bioclimatica-y-vegetacional-de-chile>
- Marquet, P., Lara, A., Altamirano, A., Alaniz, A., Álvarez, C., & Castillo, M. (Eds) (2019). *Cambio de uso del suelo en Chile: Oportunidades de mitigación ante la emergencia climática. Informe de la mesa Biodiversidad Santiago: Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación*. Recuperado de [https://cdn.digital.gob.cl/filer\\_public/05/ca/05cac857-b8ab-4786-891f-b5d67ed80d76/9biodiversidad-cus-lara.pdf](https://cdn.digital.gob.cl/filer_public/05/ca/05cac857-b8ab-4786-891f-b5d67ed80d76/9biodiversidad-cus-lara.pdf)
- Miller, J., & Theode, A. (2007). Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR). *ELSAVIER*, 109(1), 66-80. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.12.006>
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Infraestructura de datos geoespaciales de Chile (IDE). (2019, julio). *Área Urbana Consolidada*. <https://www.ide.cl/index.php/planificacion-y-catastro/item/1845-area-urbana-consolidada>
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Infraestructura de datos Geoespaciales (IDE). (2019, julio). *Área Urbana Consolidada*. <https://www.ide.cl/index.php/planificacion-y-catastro/item/1845-area-urbana-consolidada>
- Miranda, A., Carrasco, J., González, M., Lara, A., Pais, C., & Altamirano, A. (2020). Evidence-based mapping of the wildland-urban interface to better identify human communities threatened by wildfires. *ENVIRONMENTAL RESEARCH LETTERS*, 15(094069), 1-13. [doi:10.1088/1748-9326/ab9be5](https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab9be5)
- Miranda, A., Mentler, R., Moletto-Lobos, I., Alfaro, G., Aliaga, J., Balbontín, D., et al. (2022). The Landscape Fire Scars Database: mapping historical burned area and fire severity in Chile. *Earth System Science Data*. 14 (8), 3599-3613. <https://doi.org/10.5194/essd-14-3599-2022>
- Miranda, A., Lara, A., Altamirano, A., Di Bella, C., González, M., y Camarero, J. (2020, junio). *Análisis: Pérdida del verdor en el bosque de la zona central de Chile*. <http://www.cr2.cl/analisis-perdida-en-el-verdor-del-bosque-de-la-zona-central-de-chile-cr2/>
- Morales, P. (2021, enero). *Prohibición cambio uso de suelos forestales*. [https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/30439/1/Prohibicio\\_n\\_cambio\\_uso\\_de\\_suelos\\_forestales\\_la\\_experiencia\\_de\\_Espan\\_a\\_y\\_Me\\_xico.pdf](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/30439/1/Prohibicio_n_cambio_uso_de_suelos_forestales_la_experiencia_de_Espan_a_y_Me_xico.pdf)

- Pezoa, M., & Fuentes, L. (2017). Crecimiento urbano reciente del Gran Valparaíso. ¿Hacia una reconfiguración com-fusa? *Revista* 180, 354(40), 108-118. [http://dx.doi.org/10.32995/rev180.Num-40.\(2017\).art-328](http://dx.doi.org/10.32995/rev180.Num-40.(2017).art-328)
- Sala, O., Stuart, F., Armesto, J., Berlow, E., Bloomfield, J., & Humber-Sanwald, E. (2000). Global biodiversity Scenarios for the year 20100. *Science*, 287(5459), 1770-1774. [10.1126/science.287.5459.1770](https://doi.org/10.1126/science.287.5459.1770)
- Schultz, N., Lawrence, P., & Lee, X. (2017). Global satellite data highlights the diurnal asymmetry of the surface temperature responde to deforestation. *Biogeosciences*, 122(4), 903-917. <https://doi.org/10.1002/2016JG003653>
- Sistema Integral de Información Ambiental del Estado de Coahuila (SIIAEC). (2017). *Cambio de uso de suelo*. <https://old.sma.gob.mx/SRN-SIIAECC-USO-CAMBIO.php>
- Smith-Ramirez, C., Castillo-Mandujano, J., Becerra, P., & Sandoval, N. (2022). Combining remote sensing and field data to assess recovery of the Chilean Mediterranean vegetation after fire: Effect of the time elapsed and burn severity. *ELSEVIER*, 503(119800), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119800>
- Toukiloglou, P., Gitas, I., Mallinis, G., & Katagis, T. (2012). Burned area mapping in a meditteranean environment using time-series vegetation and simulated PROBA-V imaginary by employing an object-based change detection Approach. 6(3), 499-503.



```

properties:['KEY'],
reducer: ee.Reducer.first()
})
/////////////////////////////////Creación de Código Identificador/////////////////////////////////
{
var USOPRE =BNr.multiply(1000000).rename('usopre')
var USOPOST = USOA.multiply(100000000).rename('usopost')
var KEY = KEY.rename('key')
var fullraster = KEY.addBands(USOPOST.addBands(USOPRE))
// Map.addLayer(fullraster,{},'fullraster')
var compilad = fullraster.expression(
  'usopost + usopre + key', {
    'usopost': fullraster.select('usopost'),
    'usopre': fullraster.select('usopre'),
    'key': fullraster.select('key')
  });
var compilado = compilad.int64()
var maskedcom = compilado.addBands(KEY.addBands(BNr.addBands(USOA)))
/////////////////////////////////Vectorizar/////////////////////////////////
var AI = maskedcom.reduceToVectors({
  geometry: incf,
  crs: BNr.projection(),
  scale: 10,
  maxPixels: 1e10,
  bestEffort: true,
  geometryType: 'polygon',
  eightConnected: true,
  reducer: ee.Reducer.max(),
})
// Map.addLayer(AI,{},'AI')
var listaAI = AI.toList(AI.size());
print('TOTAL AI:',listaAI);//muestra el listado con las AI
{
var addArea = function(feature) {
  return feature.set({AREA: feature.geometry().area(0.1).divide(100 * 100)});
};
var AIfinal = AI.map(addArea);
}
/////////////////////////////////Agregar temporada/////////////////////////////////
var addTemp = function(feature) {
  return feature.set({Temp: prefijo+año});
};
var AIfinal = AIfinal.map(addTemp);
/////////////////////////////////
Map.addLayer(AIfinal,{},'AIfinal')
}
/////////////////////////////////Importación áreas urbanas consolidadas/////////////////////////////////
{
var Urb_Coquim = ee.Image('users/vicenteurrutia/Urb_Coquimbo');
var Urb_Metro = ee.Image('users/vicenteurrutia/Urb_Metro');
var Urb_Valp = ee.Image('users/vicenteurrutia4/Area_urb_valp_2');

```

```

var Urb_Arau = ee.Image('users/vicenteurrutia/Urb_Araucania');
var Urb_Bio = ee.Image('users/vicenteurrutia/Urb_Biobio');
var Urb_LagosRios = ee.Image('users/vicenteurrutia/Urb_LoslagosLosRios');
var Urb_Maule = ee.Image('users/vicenteurrutia/Urb_Maule');
var Urb_Ohig = ee.Image('users/vicenteurrutia/Urb_Ohiggins');
var Urb_17 = ee.ImageCollection([Urb_Valp, Urb_Coquim,
                                Urb_Metro,Urb_Arau, Urb_Bio,Urb_LagosRios,
                                Urb_Maule,Urb_Ohig]).mosaic()
    Map.addLayer(Urb_17,{},'Urb',0)
var Urb17= Urb_17.rename('urb17').clip(incf);
var Urb17 = Urb17.multiply(10000000000)
var fullUrb= KEY.addBands(Urb17.addBands(USOPRE.addBands(USOPOST)))
var suma = fullUrb.expression(
    'usopost + usopre + key+ urb', {
    'usopost': fullUrb.select('usopost'),
    'usopre': fullUrb.select('usopre'),
    'key': fullUrb.select('key'),
    'urb' : fullUrb.select('urb17')
    });
Map.addLayer(suma,{},'Urbano_img',0)
var suma = suma.addBands(KEY.addBands(BNr.addBands(USOA)))
/////////////////////////////////Vectorizar trayectorias áreas urbanas consolidadas
var Urbano = suma.reduceToVectors({
    geometry: incf,
    crs: BNr.projection(),
    scale: 10,
    maxPixels: 1e10,
    bestEffort: true,
    reducer: ee.Reducer.max(),
    geometryType: 'polygon',
})
var Urbano= Urbano.map(addArea)
var Urbano = Urbano.map(addTemp)
Map.addLayer(Urbano,{},'Urbano_shp')
var listaurbano = Urbano.toList(Urbano.size());
    print('TOTAL urbano:',listaurbano);//muestra el listado con las AI
}
/////////////////////////////////EXPORTACION/////////////////////////////////
{
////AI Urb// Exportación trayectorias más área urbanas consolidadas
//SHP
Export.table.toDrive({
    collection: Urbano,
    description: region+'_'+temporada+'_urb_shp',
    selectors:['Temp','label','AREA','key','USO_POST','USO_PRE'],
    // maxVertices:1e10,
    fileFormat: 'SHP',
    folder: 'BD_'+ region
});
//CVS
Export.table.toDrive({

```

```

    collection: Urbano,
    description: region+'_'+temporada+'_urb',
    selectors:['Temp','label','AREA','key','USO_POST','USO_PRE'],
    fileFormat: 'CSV',
    folder: 'BD_' + region
  }) ;
  ///AI Exportación trayectorias de en base a los catastros
  //SHP
  Export.table.toDrive({
    collection: AIfinal,
    description: region+ '_'+temporada +'_cat_shp',
    selectors:['Temp','label','AREA','key','USO_POST','USO_PRE'],
    // maxVertices:1e10,
    fileFormat: 'SHP',
    folder: 'BD_' + region
  });
  //CSV
  Export.table.toDrive({
    collection: AIfinal,
    description: region+ '_'+temporada +'_cat',
    selectors:['Temp','label','AREA','key','USO_POST','USO_PRE'],
    fileFormat: 'CSV',
    folder: 'BD_' + region
  });
}

```