



UNIVERSIDAD DE CHILE

**Determinantes Económicas de los Incendios Forestales y
Efectos de una Modificación de Ley de Bosques: Evidencia
para Chile**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN ANÁLISIS
ECONÓMICO**

Autor: Sebastián Poblete
Profesor Guía: Andrés Gómez-Lobo

Santiago de Chile

Agosto, 2021

Highlights

- Forest fires are mainly caused by human beings, according to data provided by CONAF.
- The law 20.653 increased sanctions against those responsible for forest fires.
- This paper studies if this law has had dissuasive effects in Chile.
- The Difference in Differences methodology is used to measure this law's effect.
- It was found that the law has had dissuasive effects: it produced an average drop of roughly 46 percent in the frequency of forest fires.
- Although the law had a very strong impact in 2014, the year immediately after its enactment, it started to severely weaken after 2014.

Resumen

Este trabajo de investigación estudia los efectos de una ley de protección forestal en la frecuencia de incendios forestales en Chile, durante el período 2003-2019. En febrero de 2013, se promulga la ley 20.653, cuyo objetivo fue aumentar las sanciones a los responsables de incendios forestales. Se construyó una base de datos de panel con información pública para analizar el período señalado, y se escogió la metodología de Diferencias en Diferencias para medir el impacto de esta ley en la frecuencia de incendios forestales causados por la acción humana, tanto intencionales como accidentales. Como objetivo secundario, se analizan las determinantes económicas de los incendios forestales dentro de esta metodología. Los resultados sugieren que la ley ha tenido efectos disuasorios en la población chilena; específicamente, ésta trajo como consecuencia una caída promedio aproximada de un 46 % en la frecuencia de incendios forestales. Aunque la ley tuvo un impacto muy fuerte en el año inmediatamente posterior a su promulgación, éste ha estado debilitándose a medida que ha pasado el tiempo. Los resultados son robustos al cambiar la especificación del grupo de control, y los coeficientes hallados de las determinantes económicas de los incendios forestales coinciden con los predichos por la literatura. No obstante, la significancia estadística de las determinantes económicas se pierde al utilizar un modelo de efectos fijos por región y por año, debido a que algunas de estas determinantes no suelen variar mucho a través del tiempo.

Abstract

This paper studies the effects of a forest protection law on the frequency of forest fires in Chile, during the 2003-2019 period. In february of 2013, the law 20.653 is enacted, whose objective was to increase the sanctions against those responsible for forest fires. A panel database is built with public information to study the aforementioned period, and the Difference in Differences methodology was chosen to measure the impact of this law on the frequency of forest fires caused by human action, both intentional and accidental. As a secondary objective, the economic determinants of forest fires are analyzed within this methodology. The results suggest that the law has had disuasory effects on the chilean population thus far; specifically, it has led to an average drop of roughly 46 percent in the frequency of forest fires. Although the law had a very strong impact in the year immediately after its enactment, it has been weakening as time has gone by. The results are robust by using an alternative specification of the control group, and the coefficients found for the economic determinants of forest fires coincide with those predicted by the literature. Nevertheless, the statistical significance of the economic determinants is lost when using a fixed effects model by region and year, because some of these determinants don't vary much through time.

1. Introducción

Los bosques cumplen un rol muy importante en nuestro planeta, ya que contribuyen a la preservación del medioambiente. Específicamente, regulan el clima y los patrones de lluvia, de los cuales depende la agricultura. Por tanto, los bosques son indispensables en la mitigación del cambio climático, al absorber cantidades importantes de dióxido de carbono, y al devolver simultáneamente oxígeno a la atmósfera. (Bellisario, 2008).

Los bosques pueden verse gravemente afectados no tan solo por factores naturales, como las condiciones climáticas, sino además por la acción del ser humano, particularmente por la sobreexplotación y los incendios forestales. Un incendio forestal se define como cualquier fuego, que independiente de su causa, se propaga sin control en terrenos rurales, a través de vegetación leñosa, herbácea, arbustiva o arbórea.

Los incendios forestales se clasifican en cuatro tipos: naturales, que son aquellos causados por alteraciones climáticas; accidentales, causados por negligencia de actividades agrícolas o descuido de turistas, entre otros accidentes de diverso tipo; intencionales, causados por piromanía o actividades delictivas, y finalmente, incendios forestales de causa desconocida (CONAF, Estadísticas Forestales). La mayoría de los incendios forestales tienen un origen antrópico, es decir, son causados por el ser humano de manera directa o indirecta. Analizando de manera más detallada los datos provistos por la Corporación Nacional Forestal (CONAF), apenas un 0,34 % de los incendios forestales corresponde a causas naturales y solo un 10 % a causas desconocidas, lo que implica que alrededor de un 90 % de los incendios forestales son causados por el ser humano (Figura 1). Por lo que es vital preguntarse si una ley de protección forestal tiene efectos disuasorios con respecto a la frecuencia de incendios forestales, lo cual constituye el propósito de este trabajo de investigación.

Merecen especial atención los incendios forestales ocasionados por negligencia de actividades agrícolas, que pueden ser producidos por quema agrícola ilegal o legal. Hay que recordar que los agricultores podrían utilizar el fuego para la eliminación de desechos de vegetación (rastros de las cosechas, por ejemplo) o para eliminar plagas y plagas. Sin embargo, la quema agrícola, de acuerdo a la legislación chilena, debe realizarse mediante un permiso gubernamental, el cual estipula los cuidados y limitaciones obligatorias de ésta, el plazo máximo y la necesidad de supervisión de ingenieros agrónomos. Cualquier quema agrícola que se realice sin permiso gubernamental se considera ilegal. Es importante mencionar que la quema agrícola descontrolada es la causa principal de incendios forestales en algunos países. (Tucek et al, 2009; Catry et al, 2007; Ganteaume, 2013; Vélez, 2000)

En el año 2013, se promulga la ley 20.653, la cual tiene como objetivo principal aumentar las sanciones a los responsables de incendios forestales. La ley básicamente

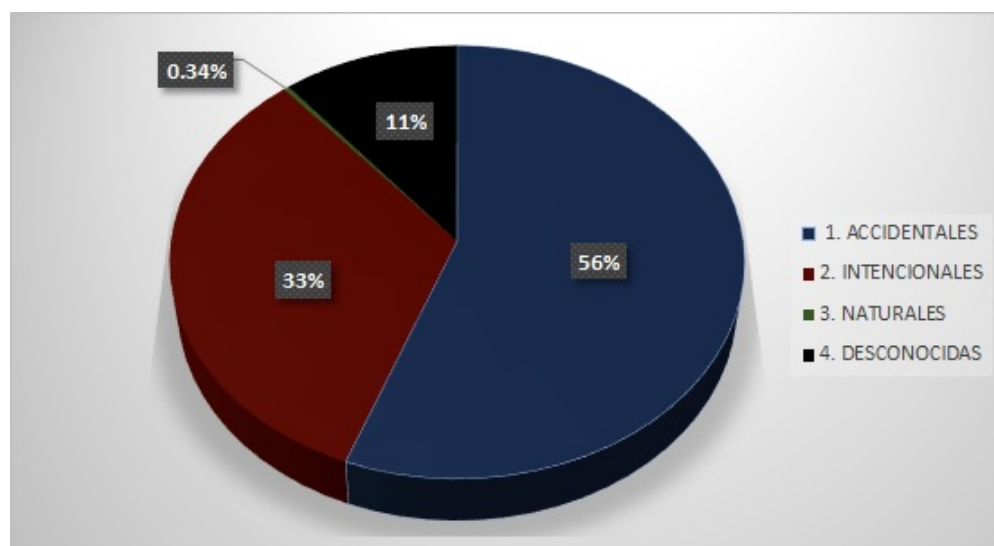


Figura 1: Frecuencia de incendios forestales a nivel nacional, causas principales

modifica el artículo 22 del Decreto Supremo N° 4363 de 1931 de La Ley de Bosques, y además, añade los artículos 22bis y 22ter¹.

Considerando lo mencionado anteriormente, el objetivo principal de este trabajo es investigar si la ley 20.653 ha tenido efectos disuasorios en la población chilena. Es decir, se tratará de analizar si el aumento de sanciones a los responsables ha traído como consecuencia que la gente sea más precavida en el uso del fuego, en el caso de los incendios ocasionados por descuido o negligencia; y si se han reducido los incentivos de aquellos que han ocasionado incendios intencionales. Como objetivo secundario, se pretenden estudiar las determinantes económicas de los incendios forestales en Chile, vale decir, aquellas variables que están relacionadas con la frecuencia de éstos.

2. Motivación

La gravedad de los incendios forestales es alarmante en nuestro país: el promedio de ocurrencia y daño de éstos a nivel nacional, en el período 1977 a 2019, ha sido de 5.547 incendios y de una superficie afectada de 67.500 hectáreas, respectivamente. Analizando los datos a nivel regional, las regiones que sufren más daño producto de los incendios forestales son las de Bío Bío, Araucanía y Valparaíso (Figura 2 y 3). Específicamente, entre las tres concentran aproximadamente un 70 % de la frecuencia total de incendios, y un 50 % de la superficie total afectada.

¹Ver información del anexo 1 para más detalle.

La magnitud del daño ocasionado por incendios forestales es preocupante, con cifras estimadas del orden de cincuenta millones de dólares en pérdidas económicas directas durante cada período de incendios forestales².

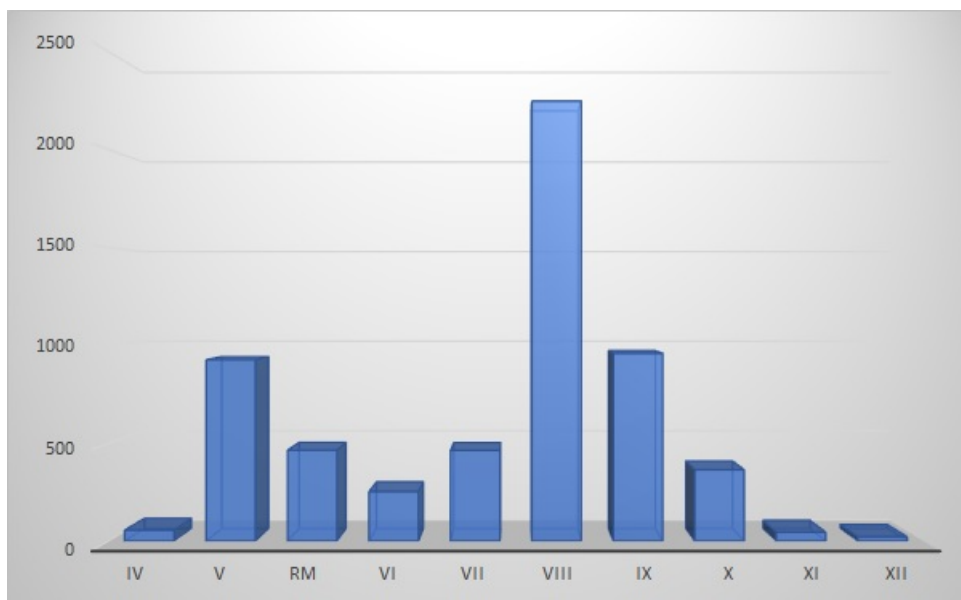


Figura 2: Frecuencia promedio de incendios forestales por región, 1977-2020

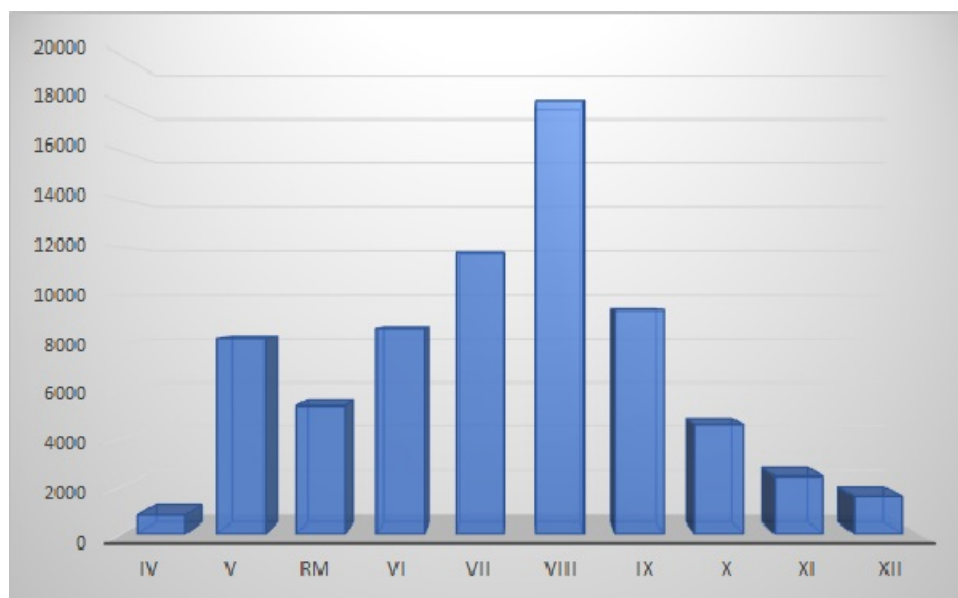


Figura 3: Superficie en hectáreas dañada en promedio por región, 1977-2020

²Fuente: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.

En este sentido, la CONAF, organismo dependiente del Ministerio de Agricultura, realiza desde 1972 su gestión de protección en el marco de sus estatutos, elaborando y ejecutando planes nacionales y regionales de conservación y protección de los recursos forestales del país, especialmente en lo que se refiere a la prevención y combate de incendios forestales. Además, ante situaciones de emergencia originadas por incendios forestales de magnitud considerable que amenacen la vida, salud o bienes de las personas, o que puedan llegar a constituir una catástrofe por su cercanía con centros poblados u obras públicas, es fundamental la participación de la Oficina Nacional de Emergencia (ONEMI), la que coordina y dispone recursos para enfrentar dichas situaciones en el marco de su gestión de protección civil.

Históricamente el Decreto Supremo N° 4.363 de 1931 en su artículo 22 ha sancionado a los responsables de incendios forestales; sin embargo, las sanciones no eran lo suficientemente estrictas, y como la frecuencia y daño de los incendios forestales han sido tan altos en nuestro país, se tuvo la necesidad de promulgar una nueva ley que aumente la severidad de dichas sanciones. En concreto, en febrero del año 2013 se promulgó la ley 20.653, la cual aumenta las sanciones a los responsables de incendios forestales. Inicialmente, los responsables de incendios forestales intencionales eran castigados con presidio mínimo a medio y con una multa de 6 a 10 UTM³, penas que fueron aumentadas por la ley 20.653 a un nuevo rango de 11 a 50 UTM. Además, la ley 20.653 añade dos artículos nuevos: el artículo 22bis y el artículo 22ter, los cuales sancionan respectivamente a los responsables de incendios forestales causados por descuido en Áreas Silvestres protegidas por el Estado, y a aquellos que por mera imprudencia o negligencia ocasionen incendios en cualquier zona rural.

Estudiar el impacto de los incendios forestales es muy importante, ya que en primer lugar, los incendios forestales ocasionan un severo daño ecológico. Específicamente, destruyen la cubierta forestal, provocan la muerte y huida de animales, pérdida del suelo fértil, aumento de emisiones de CO₂ a la atmósfera, desertificación, entre otras nefastas consecuencias. Los daños en la flora y fauna son irrecurables. (Urzúa, 2011; González, 2020). En segundo lugar, es necesario estudiar los incendios forestales porque el sector forestal es muy relevante en Chile, tanto por su oferta de recursos naturales como por sus fines recreacionales. **De hecho, éste contribuye alrededor de un 3 % del PIB nacional, y ocupa el segundo lugar de exportaciones de recursos naturales después de la minería.** (Progrea, 2020).

La literatura en Chile que estudie los incendios forestales desde un punto de vista económico es prácticamente inexistente.

³UTM: Unidad Tributaria Mensual. Una UTM equivale aproximadamente a 52.000 pesos chilenos (valor observado en julio de 2021, el cual está constantemente sujeto a cambios).

3. Literatura

La literatura chilena que estudie los incendios forestales a través de un análisis econométrico es escasa. No obstante, la literatura internacional es más abundante al respecto. Se destaca principalmente el trabajo de Michetti et al (2013), el cual realiza un análisis econométrico para encontrar cuáles son las variables determinantes de los incendios forestales en Italia. Usando datos de panel y un modelo de efectos fijos, encuentra que las principales variables que determinan los incendios son climáticas (temperatura, precipitaciones), económicas (desempleo, ingresos, nivel de educación, etc) y sociales (densidad poblacional, tasa de delitos).

Luego, el trabajo de Egolf (2017) controla por determinantes económicas similares a las encontradas en el trabajo de investigación de Italia, y trata de analizar si una ley de protección de bosque nativo tuvo algún efecto disuasorio en los incendios forestales en Argentina, para esto usan una variable dicotómica que representa la implementación de la ley. En este trabajo el autor encuentra que una ley de protección de bosque nativo efectivamente provoca una disminución de incendios forestales.

Con respecto al estudio del impacto de los incendios forestales en la economía, Nielsen (2012) analiza los efectos de los incendios forestales en el mercado laboral de Estados Unidos. Se encuentra que los incendios forestales provocan un aumento en el empleo durante el primer trimestre de haber ocurrido, y una caída en el salario observado en condados altamente dependientes del sector gobierno⁴ y del sector recreación. Por otro lado, Paziienza et al (2004) encuentran que los incendios forestales en Italia están altamente correlacionados con el nivel de desempleo, y que los incendios forestales en este país son parcialmente causados por políticas públicas de protección de bosques mal implementada; ya que éstas tienen el objetivo de combatir incendios forestales, pero sin considerar ciertas variables socioeconómicas claves al momento de diseñar tales políticas. Específicamente, estas políticas públicas destinan muchos recursos a los gobiernos locales por parte del gobierno central para financiar planes de combate de incendios forestales, los cuales son demasiado complejos y masivos. En este trabajo se argumenta que los individuos desempleados tienen incentivos económicos para ocasionar incendios forestales, los cuales son perpetrados por aquellos con la esperanza de ser posteriormente contratados en organizaciones que combatan el fuego. Resumiendo, se encontró que una ley de protección forestal en Italia paradójicamente ha aumentado la cantidad de incendios forestales en este país.

Finalmente, Dogandjieva (2008) utiliza datos de panel de países del sur de Europa, específicamente Grecia, España, Italia y Portugal y un modelo de efectos fijos por región para estudiar el impacto de los incentivos económicos en los incendios

⁴En EE.UU. los condados son subdivisiones de los estados. Un condado dependiente del gobierno es aquel que recibe un fuerte financiamiento estatal en comparación a los demás condados.

intencionales. El trabajo hace mención al modelo de elección racional del comportamiento criminal de Gary Becker (1968), el cual postula que el criminal es un individuo racional que maximiza utilidades, por lo que éste solo cometería un delito si el retorno esperado de ese delito en particular es mayor a cero, lo que podría ser extrapolado al caso de los incendios forestales intencionales. Luego, la autora utiliza como variable dependiente a la frecuencia de incendios forestales, y como variables independientes principales al precio del trigo y precio de la madera, que representan los incentivos económicos de los incendios forestales. Simultáneamente, se controla por variables socioeconómicas (desempleo, PIB per cápita, nivel de turismo), por variables climáticas (temperatura, precipitaciones) y por una variable que mida el grado de corrupción en cada país reportado por la Organización de Transparencia Internacional, la cual representa el grado de aplicación de la ley. Se encuentra evidencia de que sí existen incentivos económicos a la piromanía, reflejados por los coeficientes significativos del precio del trigo y precio de la madera en la regresión, dentro de un modelo con alto poder explicativo (mayor al 90 %).

En resumen, la literatura internacional es algo ambigua al respecto: en Italia se encuentra evidencia de que una ley de protección de bosques trae como consecuencia un aumento de los incendios forestales, y en Argentina se encuentra lo contrario. Por lo que es interesante preguntarse cual sería el impacto de una ley de protección forestal en la frecuencia de incendios forestales en Chile.

4. Hipótesis

Como hipótesis nula se plantea que la ley no ha tenido efectos disuasorios en la población chilena. La hipótesis alternativa es que la ley ha tenido efectos disuasorios en la población chilena, es decir, ha contribuido a disminuir los incendios forestales. Observando la serie anual de incendios forestales, tanto intencionales como por actividades recreativas, se puede observar una caída en el año 2013 y 2014 de aproximadamente un 11 % y un 7 % con respecto al año 2012⁵, que es el año anterior a la promulgación de la ley, por lo que la estadística descriptiva parece mostrar evidencia de que dicha ley tendría efectos disuasorios. Esta última idea se refuerza si se considera que como consecuencia de esta ley, CONAF ha tenido una mayor coordinación en la investigación de incendios forestales con Carabineros de Chile y la Policía de Investigaciones.

⁵Ver Tabla 13 del anexo 6 para más detalle.

5. Datos

5.1. Definición de variables

Se utilizarán datos de panel para el período 2003-2019. La periodicidad será anual y el panel estará constituido por las regiones de Valparaíso a Magallanes⁶.

La base de datos se construyó con las siguientes variables: temperatura, precipitaciones, humedad relativa, PIB agrícola, densidad poblacional, densidad vial, número de turistas en áreas silvestres protegidas por el Estado y criminalidad rural. La información de todas estas variables es pública, por lo que cualquier persona puede acceder a ella. En los cuadros 2 y 3 del anexo se resume la definición de cada variable, el coeficiente esperado de éstas y sus fuentes de información.

En primer lugar, es importante incluir a variables climáticas, tales como la temperatura o precipitaciones, ya que éstas tienen un claro impacto en los incendios forestales.(Pausas, 2012; Pinol et al, 1998). En este trabajo se considerará temperatura máxima promedio anual, ya que es mucho más peligrosa con respecto a los incendios forestales que la temperatura mínima promedio anual. Con respecto a las precipitaciones, se considerarán las precipitaciones con un período de rezago, es decir, las precipitaciones observadas el año inmediatamente anterior. Además, es necesario incluir a la variable porcentaje de humedad relativa en el aire, a fin de controlar por el factor 30-30-30. El factor 30-30-30 implica que la probabilidad y propagación de incendios forestales aumenta considerablemente cuando se cumplen simultáneamente las siguientes tres condiciones: temperatura por sobre los 30 grados celsius, humedad relativa del ambiente por debajo del 30 % y velocidad de los vientos por sobre los 30 km/h. También se podría incluir la variable velocidad promedio del viento, pero los resultados permanecen idénticos al incluir esta variable, por lo que se decidió excluirla.

En segundo lugar, hay que incluir a la variable PIB agrícola por región, para controlar por el impacto de la quema agrícola legal e ilegal en los incendios forestales (Leone et al, 2002; Kuhlken et al, 1999; Martínez et al, 2004). En este trabajo esta variable se medirá como la razón entre PIB agrícola a PIB total, a fin de medir la importancia relativa del sector agrícola en cada región.

Por otro lado, es importante incluir a la variable densidad poblacional por región, a fin de controlar por las causas antrópicas de los incendios forestales, es decir, aquellas causas ocasionadas por el ser humano, que son la mayoría (Figura 1) (Cardille et al, 2001). La densidad poblacional se define como el número de habitantes de un territorio dividido por la superficie de éste en km^2 . También se debe incluir a la variable densidad vial por región, ya que según CONAF, gran parte de los

⁶Si bien en un principio se había pensado eliminar la región de Magallanes, se decidió finalmente en incluirla, ya que al hacer esto se llega a estimaciones más precisas.

incendios forestales ocurren alrededor de los caminos, debido a la faja vegetal combustible contigua a éstos⁷(Cardille et al, 2001; Maingi et al, 2007). La densidad vial se define como la suma en kilómetros de la red vial pavimentada más la red vial no pavimentada, dividida por la superficie en km^2 de cada región.

Finalmente, es importante controlar por variables tales como el flujo de turistas en áreas silvestres protegidas por el Estado, criminalidad rural, superficie forestal plantada y nivel de educación de la población. En este trabajo la variable turismo se define como el número de visitantes a zonas silvestres protegidas por el Estado. La variable criminalidad rural se incluye con el fin de controlar por los incendios forestales intencionales⁸, y se define como la tasa de aprehendidos por crímenes contra la propiedad cada 100 mil habitantes⁹. Es necesario controlar por el nivel de educación en la población, ya que una educación que ponga más énfasis en la importancia y el cuidado del medioambiente traerá como consecuencia una menor cantidad de incendios forestales; la variable nivel de educación se define en este trabajo como el número de matriculados por región en la educación superior, dividido por la cantidad de habitantes por región entre 20 y 25 años, que corresponde al grupo etáreo más representativo de los matriculados en la educación superior. Se debe controlar por la variable superficie forestal plantada, ya que una mayor superficie forestal plantada debiera implicar una mayor propagación de incendios forestales.

5.2. Coeficiente esperado de las variables

A continuación se explicará por qué algunas variables debieran tener un coeficiente positivo, negativo o incierto:

La variable temperatura debiera tener un coeficiente positivo, porque a mayor temperatura, la probabilidad de ocurrencia y de propagación de incendios forestales será mayor. Con la variable precipitaciones ocurre lo contrario, es decir, a mayor nivel de precipitaciones habrá menor propagación de incendios forestales. Por su parte, si hay mayor humedad relativa del ambiente, habrá menor propagación de incendios forestales, tal y como plantea el factor 30-30-30.

El PIB agrícola debería tener coeficiente esperado incierto, ya que si los agricultores son responsables en el uso del fuego, debiera disminuir la cantidad de incendios forestales; pero por otro lado, si éstos fueran negligentes en el uso del fuego, deberían aumentar los incendios forestales, por lo que habría en total efectos contrapuestos. La variable densidad poblacional tiene un coeficiente esperado incierto porque a medida que haya mayor densidad poblacional habrá mayor probabilidad de incendios

⁷Ver con más detalle en <https://www.conaf.cl/incendios-forestales/prevencion/regulacion/>

⁸Para calcular la criminalidad rural, se eliminaron de la base de datos las 66 comunas consideradas urbanas por Berdegué et al, 2010. Ver más detalle en el anexo 4.

⁹Se utiliza la tasa de aprehendidos contra la propiedad porque dentro de esta categoría se encuentran los incendios forestales. Ver más detalle en el anexo 3.

ocasionados por el ser humano, ya que éstos son mayoritariamente ocasionados por el ser humano; pero simultáneamente, un mayor grado de densidad poblacional indicaría un mayor grado de urbanización, y menor proporción de áreas rurales, lo que estaría relacionado con una menor probabilidad de incendios forestales. Es decir, ésta también tendría efecto neto incierto.

Por su parte, una mayor densidad vial implicaría una mayor frecuencia de incendios forestales debido a la faja vegetal combustible contigua a los caminos. Sin embargo, una mayor densidad vial implica mayor conectividad entre zonas, tanto de manera interregional como intrarregional, lo que estaría relacionado con una mayor agilidad en el proceso de extinción del fuego por parte del Cuerpo de Bomberos o de las Brigadas Forestales de CONAF. La variable turismo debería tener coeficiente incierto, ya que el efecto de ésta depende de si los turistas, en promedio, han sido relativamente más negligentes o más cuidadosos con el medioambiente.

Finalmente, la variable criminalidad rural debería tener un efecto positivo en los incendios forestales intencionales, a no ser de que el control policial en zonas rurales se haya vuelto más eficiente en los últimos años. La variable superficie forestal plantada debería tener un efecto positivo en los incendios forestales, y por su parte, la variable educación debería tener un efecto negativo en éstos, si es que la educación ambiental ha sido relevante en los últimos años.

5.3. Tratamiento de datos

Se decide agregar la región de Los Ríos a la región de Los Lagos desde el 2008 en adelante, y la región de Ñuble a la región del Bío Bío, desde el 2018 en adelante. Esto permite trabajar con una base de datos mucho más extensa, ampliando el intervalo analizado desde el 2003 hasta el 2019, en vez del 2008 en adelante.

Aunque la base de datos original fue construida excluyendo a la región de Magallanes, se decidió finalmente incluirla al estimar los resultados finales, ya que de ésta manera los resultados obtenidos son más precisos: el Efecto Tratamiento Promedio obtenido es más preciso.

6. Metodología

6.1. Categorías de incendios forestales potencialmente afectadas por la ley: grupo de control y de tratamiento

CONAF presenta estadísticas muy específicas sobre las causas de incendios forestales. Como se mencionó en la introducción, a grandes rasgos las causas principales son naturales, accidentales, intencionales y desconocidas. En esta sección se profundizará más, mencionando las subcategorías de estas causas, lo que permitirá definir un grupo de control y de tratamiento. Básicamente se dispone de una serie de datos, con periodicidad anual y por región, correspondiente a las siguientes causas de los incendios forestales:

1. Faenas Agrícolas
2. Faenas Forestales
3. Extracción de Productos Secundarios del Bosque
4. Actividades Recreativas
5. Operaciones en vías férreas
6. Actividades de extinción de Incendios Forestales, Incendios Estructurales
7. Tránsito de personas, vehículos o aeronaves
8. Quema de desechos
9. Accidentes eléctricos
10. Otras actividades
11. Incendios Intencionales
12. Incendios Naturales
13. Incendios de Causa Desconocida.

Entre las causas mencionadas anteriormente, primero se considerarán aquellas que están afectadas por la ley, es decir, aquellas que incluyen casos que la ley penaliza de manera textual. Claramente los artículos 22bis) y 22ter) mencionados en la introducción se refieren principalmente a la negligencia de turistas en Áreas Silvestres Protegidas por el Estado¹⁰. Por su parte, el artículo 22a) se refiere claramente

¹⁰Ver anexo 1 para más detalle.

a los incendios intencionales. **Entonces, las categorías 4 y 11, que incluyen casos tanto de incendios forestales intencionales como los causados por actividades recreativas, constituirán el grupo de tratamiento, ya que son los tipos de incendios cuyas causas podrían ser penalizadas por la ley.** Vale decir, se asume que si la ley hubiese tenido efectos, éstos serían sobre estas dos causas.

Por otro lado, el grupo de control incluirá principalmente a operaciones en vías férreas (incendios ocasionados por accidentes ferroviarios, como por ejemplo, chispa por fricción en línea férrea o corte de cables de tendido eléctrico en línea férrea), actividades de extinción de incendios forestales e incendios estructurales (incendios ocasionados por incendios en campamentos o casas aledañas, rebrotes de incendios anteriores) , tránsito de personas, vehículos o aeronaves (incendios ocasionados por incendios de vehículos, caída de aviones o helicópteros), accidentes eléctricos (cortes de cables eléctricos causados por caída de ramas, crecimiento de vegetación debajo de un cable, caída de tendido eléctrico), entre otras actividades cuyas personas involucradas claramente no son sancionadas por la ley, ya que no tuvieron ninguna intención de provocar un incendio ni tampoco presentaron descuido en el uso de fuego.

Se puede observar en la Figura 4 que tanto el grupo de control como de tratamiento cumplen con el requisito de tener tendencias paralelas hasta la fecha de tratamiento (2013), el cual es un requisito clave para poder utilizar la metodología de Diferencias en Diferencias. De hecho, ambos grupos presentan una correlación aproximada de 0,62 desde el 2003 hasta el 2012; y aproximadamente en el 2013, año en el que se promulga la ley 20.653, sus tendencias comienzan a diverger.

Resumiendo hasta el momento, las causas 1, 2, 3 y 13 no se consideran dentro del grupo de tratamiento ni de control, por su característica ambigua, ya que contienen tanto casos relacionados a la quema agrícola legal como a la ilegal. Sin embargo, éstos podrían ser útiles para construir un grupo de control alternativo, que servirá para darle robustez a las estimaciones en las próximas secciones. Entonces, el grupo de tratamiento está compuesto por las causas 4 y 11; y el grupo de control por las causas 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 12.

Finalmente, es importante señalar que en el análisis econométrico de la sección 8 se incluirán variables de interacción correspondientes tanto a años anteriores como posteriores a la implementación de la ley, con el objetivo de testear si hubo tendencias paralelas entre los grupos de tratamiento y de control en el período anterior al 2013, y para testear los efectos de la ley a través del tiempo.

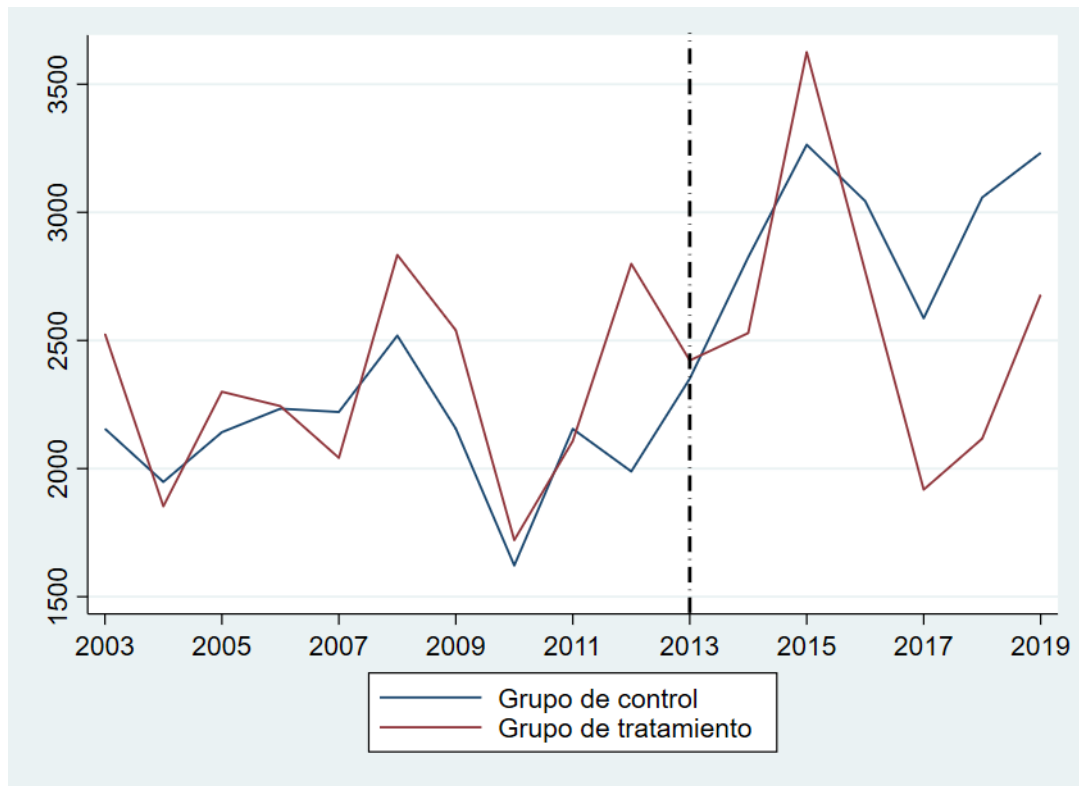


Figura 4: Número de incendios forestales anuales, considerando causas. Grupo de tratamiento y grupo de control

6.2. Estimación del impacto de la ley: primer enfoque

Considerando los grupos de tratamiento y control expuestos recientemente, se podría estimar el impacto de la ley en cada uno de estos grupos por separado (estimaciones (1) y (2) de la Tabla 1), mediante una variable dicotómica temporal D_t , la cual toma valor igual a 1 desde el 2013 en adelante; 0 en caso contrario. La variable dependiente de la estimación 1 corresponde al logaritmo de los incendios forestales del grupo de control, y la variable dependiente de la estimación 2 corresponde al logaritmo de los incendios forestales del grupo de tratamiento. La variable D_t en la estimación 2 podría indicar el efecto de la ley. Sin embargo, esta forma de estimar el impacto de la ley queda descartada por la presencia altamente probable de factores no observables que estarían distorsionando las estimaciones del grupo de tratamiento. Es muy probable que estos factores no observados correspondan a sesgos por variables omitidas, ya que es muy difícil controlar por todos los factores que afecten a los incendios forestales en un período determinado¹¹.

¹¹De hecho, la dummy temporal D_t en el grupo de control arroja un valor p de 0,137, es decir, está relativamente cerca del umbral significativo, lo que indica que la presencia de factores no observables es altamente probable.

Tabla 1: Resultados del primer enfoque

	(1)	(2)
	Ln(int)	Ln(int)
Grupo	Control	Tratamiento
D_t	-1,280 (-1,50)	1,359 (1,39)
Controles climáticos	Sí	Sí
Ln(dpop)	4,143 (0,70)	-21,36** (-3,12)
Ln(dvial)	0,874 (0,94)	-1,434 (-1,31)
Ln(educ)	0,712 (1,80)	-0,00660 (-0,01)
Ln(gdpagr)	-0,0609 (-0,72)	-0,0487 (-0,50)
Tur	0,000 (0,49)	0,000 (1,26)
Ln(splant)	0,0513 (0,79)	-0,159* (-2,13)
Ln(crime_rur)	-0,264 (-1,48)	-0,230 (-1,11)
Efectos fijos por año	Sí	Sí
Efectos fijos por región	Sí	Sí
Constante	-10.70 (-0.51)	74.39** (3.06)
N	150	149

Errores estándar en paréntesis

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

6.3. Modelo

Como la metodología presentada en la sección 6.2 no es la correcta, debido a la presencia de factores no observables que distorsionan las estimaciones, se evaluará el impacto de la ley en la frecuencia de incendios forestales mediante la metodología de Diferencias en Diferencias. Se construirá una base de datos de panel con periodicidad anual y desagregación regional, cuyas fuentes de información aparecen con detalle en los anexos 2 y 3.

Específicamente se analizará la zona comprendida entre la región de Valparaíso y Magallanes, para el período 2003-2019. Aunque al principio se había decidido excluir la región de Magallanes, debido a su frecuencia relativamente escasa de incendios forestales, se decidió finalmente incluirla, ya que las estimaciones resultan más precisas al incluir esta región. La ecuación estimada será la siguiente:

$$Y_{it} = \beta_1 D_c + \beta_2 D_t + \beta_3 D_c * D_t + \beta_4 X_t' + v_i + \varepsilon_t \quad (1)$$

En la cual la variable dictómica D_c toma valor 1 si la observación respectiva pertenece al grupo de tratamiento; 0 en caso contrario. Por otro lado, la variable dicotómica D_t representa al período de tratamiento, que en este caso es el año en el que se promulgó la ley 20.653, es decir, toma valor 1 desde el 2013 en adelante; 0 en caso contrario. En consecuencia, la variable $D_c D_t$ representará al término de interacción entre las variables anteriormente mencionadas, D_c y D_t , cuyo coeficiente corresponde al **Efecto Tratamiento Promedio (ATE)**, el cual indica los efectos promedios de la ley, al controlar por el vector de controles X_t , que contiene todas las variables explicativas mencionadas en el cuadro 1.

Y_{it} representa el logaritmo natural de la frecuencia de incendios forestales, tanto intencionales como aquellos causados por actividades recreativas, en cada región i y para cada período t ; el cual se denotará en las regresiones como **Ln(int)**. El modelo escogido será de efectos fijos por región, representados por el coeficiente v_i . El test de Hausman de la Tabla 2 indica que el modelo apropiado es el de efectos fijos, ya que da como resultado un p-valor igual a 0, mediante el cual se rechaza la hipótesis nula de que haya efectos aleatorios (Wooldridge, 2001). Como ningún modelo econométrico es capaz de explicar completamente un fenómeno, todo aquel factor no considerado dentro del modelo estará incluido en el error estocástico ε_t .

Además, se decide excluir de este estudio a las variables desempleo e ingresos, ya que si bien éstas son recomendadas por la literatura, la variable criminalidad está determinada económicamente por éstas. La variable criminalidad, que ya ha sido incluida en este estudio, es económicamente dependiente de las variables desempleo e ingresos, y si se incluyeran estas últimas dos habría problemas de multicolinealidad. La teoría económica plantea que a mayor nivel de desempleo y menor nivel de ingresos en una población determinada, aumentará la probabilidad de que un

grupo de personas decida salirse del mercado laboral formal, y que incluso decidan pertenecer en actividades ilícitas.

Análogamente, se decide excluir a la variable empleo agrícola para evitar problemas de multicolinealidad, ya que el PIB agrícola, que ya está incluido en este trabajo, es variable dependiente del nivel de empleo agrícola y del stock de capital agrícola.

6.4. Test de Hausman

<u>Tabla 2: Resultados Test de Hausman</u>	
	(1)
	Ln(int)
D_c	-0,183 (-1,68)
D_t	0,203 (1,11)
$D_c D_t$	-0,460** (-2,71)
Controles	Todos
$Chi^2(12) =$	43,77
$Prob > Chi^2 =$	0,00
Constante	24,11 (1,86)
N	299

Errores estándar en paréntesis

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

7. Resultados e interpretación¹²

Tabla 3: Resultados modelo Dif en Dif

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	Ln(int)	Ln(int)	Ln(int)	Ln(int)	Ln(int)
D_c	-0,172 (-1,56)	-0,177 (-1,62)	-0,178 (-1,63)	-0,183 (-1,68)	-0,182 (-1,67)
D_t	0,277* (2,27)	0,197 (1,47)	0,289 (1,64)	0,203 (1,11)	0,278 (0,35)
ATE	-0,468** (-2,71)	-0,465** (-2,71)	-0,464** (-2,72)	-0,460** (-2,71)	-0,457** (-2,67)
Ln(temp)		3,180* (2,47)	4,112** (3,02)	4,720** (3,31)	3,146 (1,73)
Ln(prec(-1))		0,0881 (0,58)	0,0422 (0,27)	-0,0132 (-0,08)	-0,119 (-0,54)
Ln(humedad)		-0,838 (-0,78)	-1,005 (-0,88)	-1,097 (-0,95)	-1,281 (-1,06)
Ln(dpop)			-6,109* (-2,10)	-8,069* (-2,55)	-8,837 (-1,61)
Ln(dvial)			0,417 (0,54)	0,192 (0,24)	-0,198 (-0,23)
Ln(educ)			0,578 (1,78)	0,492 (1,48)	0,352 (0,97)
Ln(gdppagr)				-0,0229 (-0,32)	-0,0546 (-0,70)
Tur				0,000 (1,88)	0,000 (1,04)
Ln(splant)				-0,0775 (-1,36)	-0,0652 (-1,10)
Ln(crime_rur)				-0,129 (-1,41)	-0,269 (-1,64)
Efectos fijos por región	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Efectos fijos por año	No	No	No	No	Sí
Constante	4,562*** (59,10)	-1,520 (-0,25)	18,25 (1,52)	24,11 (1,86)	32,41 (1,67)
N	299	299	299	299	299

Errores estándar en paréntesis

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$ ¹²Los resultados de este modelo principal no cambian si se incluye la variable velocidad promedio del viento, debido a que su variabilidad a través del tiempo es escasa.

Entre los resultados presentados en la Tabla 3 se han considerado cinco modelos distintos: el primero es el más básico, es decir, no incluye ningún control; el segundo añade solo los tres controles climáticos; el tercero añade algunos controles socioeconómicos además de los controles climáticos del segundo; el cuarto considera todos los controles posibles dentro de un modelo de efectos fijos por región, y finalmente, el quinto modelo considera todos los controles posibles dentro de un modelo de efectos fijos por región y por año. Entonces, el quinto modelo será el principal y definitivo de este trabajo, ya que es el más completo.

El coeficiente de la variable interacción es siempre negativo en los cinco modelos alternativos y además es estadísticamente significativo al 99,99% de confianza, lo que indica que la ley ha tenido efectos disuasorios en la población. Este coeficiente presenta una magnitud aproximada de -0,46 en el modelo 5, y además, como la variable de interacción es estadísticamente significativa, se puede decir que la ley ha traído como consecuencia una disminución tanto en los incendios forestales intencionales como en los incendios forestales causados por descuido en actividades recreativas. Teniendo en cuenta que la variable dependiente está en logaritmo, entonces se puede inferir que el efecto tratamiento promedio de la ley corresponde a una disminución aproximada de un 46% en los incendios forestales intencionales y por negligencia.

Con respecto a los controles, se debe destacar que prácticamente todos sus coeficientes concuerdan con los coeficientes predichos en la literatura relacionada. En particular, la variable temperatura tiene un coeficiente positivo, y la variable precipitaciones tiene un coeficiente negativo al igual que la variable humedad relativa. La variable densidad vial arroja un coeficiente negativo en el modelo definitivo (5), pero positivo en los modelos (3) y (4), por lo que no es posible concluir en qué sentido afecta la densidad vial a los incendios forestales: no se puede saber si el efecto de la extinción del fuego por parte de Bomberos de Chile o de las Brigadas Forestales de CONAF es mayor o menor que el efecto agravante de la faja vegetal combustible contigua a los caminos.

R^2	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5
R^2 -within	0,0827	0,1052	0,1194	0,1403	0,1788
R^2 -between	0,8349	0,5786	0,7031	0,7252	0,7401
R^2 -overall	0,0160	0,4851	0,5676	0,7401	0,6005

Tabla 4: R^2 de Estimación Principal

La variable densidad poblacional tiene signo negativo y es significativa al 99,99 % de confianza en el modelo 3 y 4, lo que indicaría un mayor grado de urbanización, y por ende, menor superficie forestal, que estaría relacionado a una menor frecuencia de incendios forestales. Sin embargo, ésta deja de ser significativa en el modelo 5, debido a que muchas regiones han tenido poca variación temporal en su densidad poblacional, lo que estaría capturado por los efectos fijos por año.

La variable criminalidad rural resulta no significativa, pero paradójicamente arroja un coeficiente negativo. Esto probablemente indicaría que el control policial en zonas rurales ha resultado más eficiente que lo pensado, pero como resulta estadísticamente no significativa, no es posible dar conclusiones al respecto. Es importante señalar que la variable criminalidad rural presenta un fuerte error de medición, debido a que la tasa de aprehendidos reportada en las estadísticas policiales nunca corresponde exactamente con la cantidad real de criminales de un delito en particular. Finalmente, la variable que mide el flujo de turistas arroja un coeficiente cercano a cero, y no significativo, en los modelos 4 y 5, por lo que no se puede concluir si los turistas han sido relativamente más cuidados o más negligentes que lo esperado con el medioambiente. La variable nivel de educación arroja un coeficiente contrario a lo esperado, esto indicaría que quizás la educación medioambiental aún no es lo suficientemente alta como para generar conciencia con respecto al medioambiente; sin embargo, no es estadísticamente significativa, por lo que no se pueden dar conclusiones al respecto.

En la Tabla 4 de esta sección se observan tres parámetros: R^2 -within, R^2 -between y R^2 -overall. El primer parámetro indica cuánta variación en la variable dependiente dentro de cada región es capturada por el modelo. En cambio, el segundo indica cuánta variación en la variable dependiente entre una región y otra es capturada por el modelo. El tercero es simplemente una combinación de ambos. En este trabajo, como se están utilizando efectos fijos, solo importa el primer parámetro, ya que el segundo es más apropiado para efectos aleatorios. Se puede observar que el R^2 -within, el cual representa el poder explicativo de un modelo de efectos fijos, va aumentando a medida que el modelo se va volviendo más complejo. El R^2 -within en el modelo más sencillo es de un 8,27 %, el cual aumenta a un 18 % en el modelo más complejo (5).

Aunque algunas variables resulten no significativas, esto no implica que las especificaciones de los modelos no sean las adecuadas. De hecho, esto ocurre porque algunas de estas variables han tenido poca variabilidad a través del tiempo, lo cual termina siendo capturado al realizar la estimación por efectos fijos.

8. Robustez

Con el fin de analizar si los resultados obtenidos en la sección anterior son robustos o no, se estimará el mismo modelo de la sección 6.3, pero especificando de manera distinta al grupo de control. Concretamente, al grupo de control expuesto en la sección 6.4 se le añaden las causas de Faenas Agrícolas y Faenas Forestales, las que a pesar de ser algo ambiguas en su clasificación, contienen mayoritariamente causas de actividades legales, por lo que pueden ser consideradas para formar un grupo de control alternativo.

Cuando se forma este grupo de control alternativo para testear robustez, se mantiene el supuesto de tendencias paralelas antes de la implementación de la ley, el cual es fundamental para poder realizar la metodología diferencias en diferencias. Ambos grupos presentan una correlación de 0,69 antes del 2013, año en el que se promulga la ley 20.653 (Figura 5).

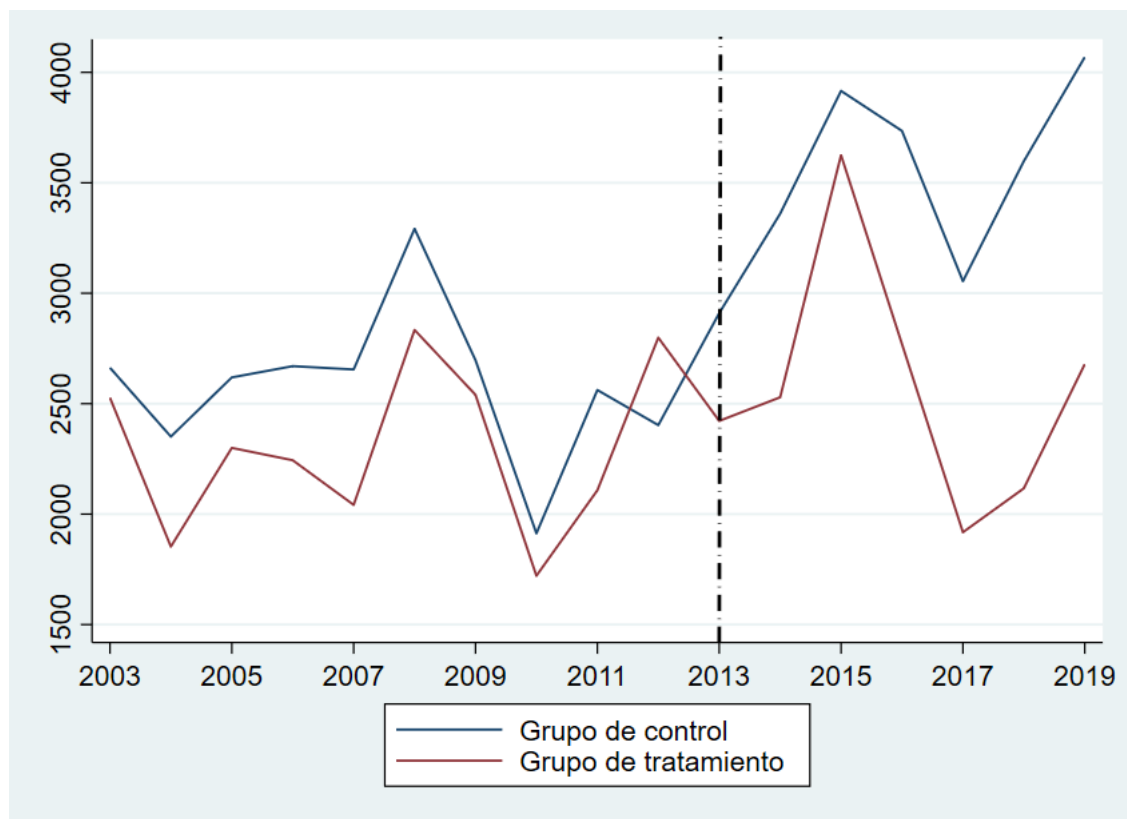


Figura 5: Número de incendios forestales anuales, considerando causas. Grupo de tratamiento y grupo de control alternativo

8.1. Resultados de robustez

Tabla 5: Estimaciones de robustez del modelo Dif en Dif

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	Ln(int)	Ln(int)	Ln(int)	Ln(int)	Ln(int)
D_c	-0,310** (-2,91)	-0,315** (-2,97)	-0,316** (-2,99)	-0,321** (-3,05)	-0,320** (-3,06)
D_t	0,289* (2,45)	0,211 (1,62)	0,302 (1,77)	0,216 (1,21)	0,438 (0,58)
ATE	-0,441** (-2,64)	-0,438** (-2,64)	-0,438** (-2,64)	-0,434** (-2,63)	-0,432** (-2,64)
Ln(temp)		2,972* (2,38)	3,863** (2,92)	4,457** (3,22)	2,760 (1,59)
Ln(prec(-1))		0,0717 (0,49)	0,0257 (0,17)	-0,0286 (-0,18)	-0,0584 (-0,28)
Ln(humedad)		0,0363 (0,03)	-0,185 (-0,17)	-0,271 (-0,24)	-0,462 (-0,40)
Ln(dpop)			-6,043* (-2,14)	-7,959** (-2,60)	-9,231 (-1,76)
Ln(dvial)			0,518 (0,69)	0,291 (0,38)	-0,103 (-0,12)
Ln(educ)			0,569 (1,80)	0,481 (1,50)	0,362 (1,04)
Ln(gdpagr)				-0,0237 (-0,34)	-0,0617 (-0,83)
Tur				0,000 (1,94)	0,000 (0,88)
Ln(splant)				-0,0770 (-1,39)	-0,0594 (-1,04)
Ln(crime_rur)				-0,126 (-1,42)	-0,305 (-1,94)
Efectos fijos por región	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Efectos fijos por año	No	No	No	No	Sí
Constante	4,702*** (62,91)	-4,399 (-0,75)	15,68 (1,35)	21,38 (1,71)	31,46 (1,70)
N	299	299	299	299	299

Errores estándar en paréntesis

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

8.2. Efectos de la ley a través del tiempo

Con el objetivo de testear los efectos de la ley a través del tiempo, se añadirán nuevas variables de interacción además de la principal correspondiente al año 2013. En particular, se testearán variables de interacción desde el período $t-3$ hasta el período $t+6$. Esto permitirá ver si los efectos de la ley se han ido fortaleciendo o debilitando desde la fecha de promulgación, y además permitirá testear la hipótesis de tendencias paralelas en el período anterior a la implementación de la ley (2010 a 2012).

Tabla 6: Estimaciones de los efectos de la ley a través del tiempo

	(5)	(6)
	Ln(int)	Ln(int)
Controles	Todos	Todos
ATE 2010		-0,0543 (-0,15)
ATE 2011		-0,307 (-0,89)
ATE 2012		-0,546 (-1,53)
ATE 2013	-0,457** (-2,67)	-0,694* (-1,83)
ATE 2014		-0,992** (-2,88)
ATE 2015		-0,566 (-1,59)
ATE 2016		-0,437 (-1,27)
ATE 2017		-0,496 (-1,44)
ATE 2018		-0,601* (-1,74)
ATE 2019		-0,697* (-2,02)
Efectos fijos por región	Sí	Sí
Efectos fijos por año	Sí	No
Constante	32,41 (1,67)	24,50 (1,56)
<i>N</i>	299	299

Errores estándar en paréntesis

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

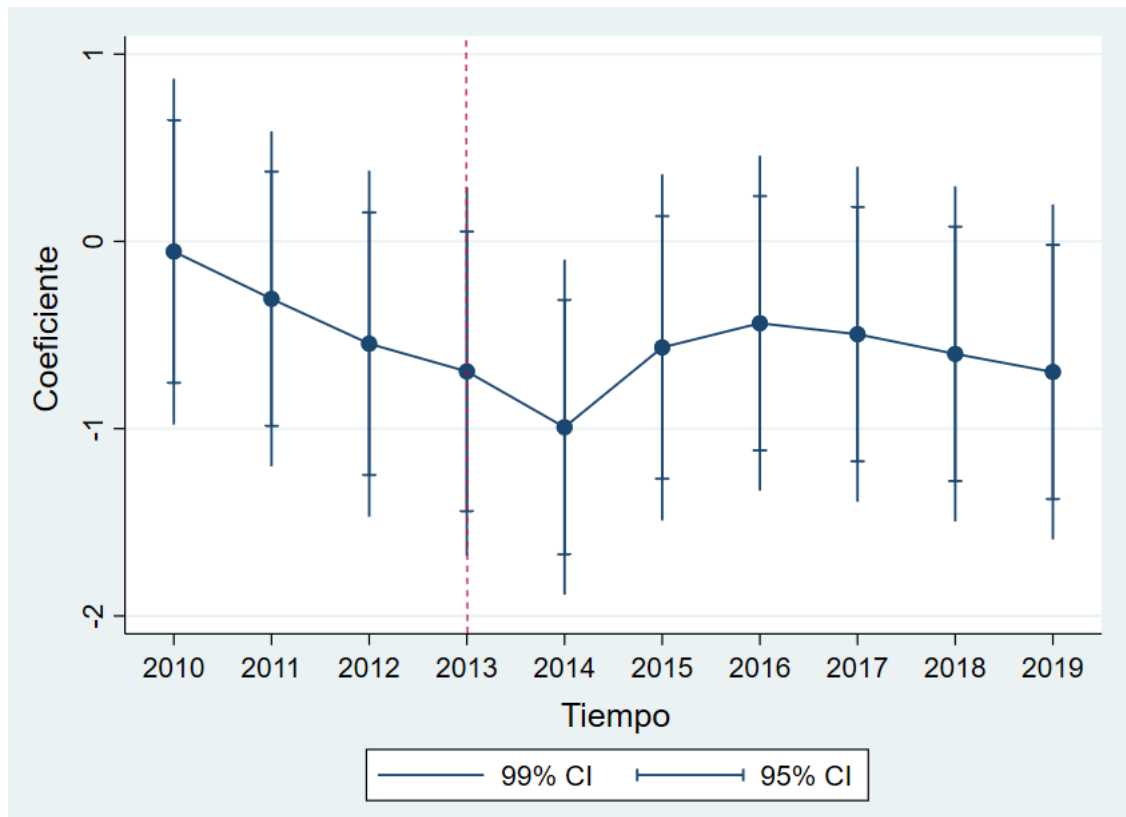


Figura 6: Efectos de la ley a través del tiempo

8.3. Interpretaciones

En primer lugar, los resultados obtenidos con el grupo de control principal son robustos si se cambia la especificación del grupo de control (comparar Tabla 5 con la Tabla 3). Aunque el Efecto Tratamiento Promedio cae levemente de -46 % a -43 % en la Tabla 5, éste mantiene un nivel de significancia estadística muy alto (99,99 % de confianza). Esto último reafirma la validez de los resultados obtenidos utilizando el grupo de control principal: al cambiar la especificación del grupo de control, la robustez de los resultados confirma que se debe rechazar la hipótesis nula de que la ley no ha tenido efectos disuasorios en la población. Es decir, se ha encontrado evidencia de que la ley ha contribuido a disminuir los incendios forestales en aproximadamente un 46 %, según las estimaciones del modelo principal (5) presentado en la Tabla 3.

Con respecto a la existencia de tendencias paralelas entre el grupo de tratamiento y el grupo de control desde el año 2010 hasta el año 2012, los resultados de la Tabla 6 indican que no hay evidencia para rechazar la hipótesis nula de que hubo tendencias paralelas entre ambos grupos hasta el año 2012. Este test de tendencias

paralelas tiene como hipótesis nula la existencia de tendencias paralelas. Luego, como los coeficientes respectivos de los años 2010 a 2012 resultan estadísticamente no significativos, se acepta la hipótesis nula de que efectivamente hubo tendencias paralelas entre ambos grupos hasta antes del 2013.

Por otro lado, al analizar los impactos de la ley a través del tiempo en la misma Tabla 6 de la sección 8.2, se puede observar que la ley tuvo un efecto muy fuerte en el 2014 (-99,2%), año inmediatamente posterior a la promulgación de la ley. Sin embargo, estos efectos parecieran ir perdiendo fuerza gradualmente a medida que pasa el tiempo, lo que se refleja en una leve tendencia a la baja de dichos coeficientes después del 2014 (Figura 6), los que además no resultan estadísticamente distintos de cero, con excepción del coeficiente correspondiente al 2019. Dicho de otro modo, se puede decir que la ley tuvo un efecto muy fuerte en el 2014, año inmediatamente posterior a la promulgación de ésta, y que dicho efecto ha tendido a debilitarse durante los últimos años.

9. Conclusiones

Los bosques son muy importantes para el equilibrio del ecosistema. Los incendios forestales tienen consecuencias nefastas e irreversibles, tanto en la economía como en el medioambiente. Este trabajo estudia si la ley 20.653, que aumentó las sanciones a responsables de incendios forestales, tuvo efectos disuasorios en la población o no. Se utilizó la metodología de diferencias en diferencias, encontrando evidencia de que la ley ha contribuido a disminuir la cantidad de incendios forestales en aproximadamente un 46 %, al controlar por diversas variables. Los resultados son estadísticamente robustos al cambiar la especificación del grupo de control, lo que reafirma la idea de aceptar la hipótesis alternativa de que la ley sí tuvo efectos disuasorios en la población chilena. Se ha encontrado evidencia, en este caso particular, de que los cambios legislativos sí han tenido efectos cuantificables en el comportamiento humano. Aunque el impacto de la ley se ha manifestado más claramente en los años inmediatamente posteriores a su promulgación, éste se ha estado reduciendo, tanto en magnitud como en significancia estadística, a medida que ha pasado el tiempo.

Prácticamente todas las variables de control en este estudio tienen un signo que concuerda con lo predicho por la literatura, sin embargo, algunas no resultan estadísticamente significativas porque han tenido poca variabilidad a través del tiempo, lo que termina siendo capturado por la metodología de efectos fijos. Se decidió por no incluir más variables de control debido a que el modelo principal presentado incluye las principales variables sugeridas por la literatura, y además, en econometría los modelos parsimoniosos son preferidos ante modelos con un número muy elevado de variables.

Se sugiere ampliar esta investigación en el futuro de diversas maneras. La primera sería aumentar el intervalo de tiempo analizado en el largo plazo cuando se tengan más datos, ya que hasta el momento no hay mucha información disponible al respecto. Sería interesante analizar este estudio con datos trimestrales o mensuales. La segunda sería realizar una metodología alternativa a la planteada en este trabajo, y ver si se obtienen resultados similares.

Al ser los incendios forestales un fenómeno alarmante en Chile, es urgente que los diseñadores de políticas públicas se preocupen más del tema. Una sugerencia importante es que la prensa le informe más a la gente acerca del endurecimiento de sanciones a los responsables, ya que muchos de los incendios forestales han estado motivados por un grave conflicto político que se ha manifestado desde hace años en Chile. En particular, las regiones de Bío Bío y la Araucanía presentan la mayor tasa de incidencia de incendios forestales del país, alcanzando en algunos períodos hasta un 50 % de incidencia. En estas dos regiones, los incendios forestales intencionales son causados principalmente por atentados incendiarios vandálicos y conflictos indígenas. (González et al - CR2, 2020). Además, en estas regiones en particular, los incendios intencionales han estado aumentando debido al conflicto político recién

mencionado, por lo que los resultados de esta investigación podrían parecer contraintuitivos; no obstante, si la ley 20.653 no se hubiese promulgado, éstos habrían aumentado mucho más.

Otra sugerencia sería incrementar aún más las sanciones, ya que la magnitud de las sanciones es mucho menor en comparación a los daños irreversibles ocasionados por los incendios forestales, tanto en el medioambiente como en la economía. Otra política pública interesante sugerida por la literatura, es que los gobiernos podrían evaluar la posibilidad de subsidiar a los dueños de terrenos agrícolas y forestales con el objetivo de que éstos controlen y mantengan en buen estado los bosques que están dentro de su territorio. Vale decir, si los dueños de bosques privados efectivamente cuidan y protegen sus propios bosques en un período determinado, recibirán un subsidio al final de este período. Mayer et al (2006) ya han estudiado esta política pública en zonas de Norteamérica y del norte de Europa, y encuentran que este enfoque de incentivos ha dado buenos resultados para mantener la biodiversidad de los bosques privados.

Por último, es necesario investigar con más detalle en el futuro acerca de los costos económicos de los incendios forestales. Si bien existen actualmente estimaciones de éstos, como las mencionadas por el Congreso Nacional de Chile en la introducción de este trabajo, no suelen mostrar qué metodología utilizaron para calcular dichas estimaciones, por lo que sería interesante que un trabajo futuro plantee una metodología nueva o alternativa para estimar dichos costos.

Bibliografía

Referencias

- [1] Becker, G. (1968). “Crime and Punishment”. *Journal of Political Economy*, Vol. 76, no. 2: 169-217. Published by: The University of Chicago Press. <https://doi.org/10.1086/259394>
- [2] Bellisario, N. (2008). “Humanity in Need for an Alternative Global System”. Thesis for International Master’s Degree in Peace, Conflict and Development Studies, Universitat Jaume I, Castellón.
- [3] Berdegué, J. Jara, E., Modrego, F., Sanclemente, X. & Schejtman, A. (2010). “Comunas Rurales de Chile”. Documento de Trabajo N° 60. Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural, Santiago, Chile.
- [4] Cardille, J., Ventura, S. & Turner, M. (2001). “Environmental and Social Factors Influencing Social Wildfires in the upper midwest, United States”. *Ecological Applications*, Vol. 11, no. 1: 111–127. Published by: The Ecological Society of America. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2001\)011\[0111:EASFIW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2001)011[0111:EASFIW]2.0.CO;2)
- [5] Catry, F., Moreira, F. & Sande, J. (2007). “Spatial Distribution Patterns of Wildfire Ignitions in Portugal”. *Journal of Modelação espacial do risco de ignição em Portugal Continental*.
- [6] Dogandjieva, R. (2008). “Forest fires in southern Europe: an econometric investigation of the existence of economic incentives for fire arson”. Honors Theses. Paper 641. <https://scholarship.richmond.edu/honors-theses/641>
- [7] Egolf, P. (2017). “Estudio Económico sobre Incendios Forestales e Incentivos Económicos a partir de la ley de bosques en Argentina”. Editorial: Universidad del CEMA. <https://hdl.handle.net/20.500.12123/1789>
- [8] Ganteaume, A., Camia, A., Jappiot, M., San Miguel-Ayanz, M., Long-Fournel, M. & Lampin, C. (2013). “A Review of the Main Driving Factors of Forest Fire Ignition Over Europe”. *Environmental Management*, Springer Verlag (Germany), 2013, Vol. 51, no. 3: 651-662. <https://doi.org/10.1007/s00267-012-9961-z>

- [9] González, M.E., Sapiains, R., Gómez-González, S., Garreaud, R., Miranda, A., Galleguillos, M., Jacques, M., Pauchard, A., Hoyos, J., Cordero, L., Vásquez, F., Lara, A., Aldunce, P., Delgado, V., Arriagada, Ugarte, A.M., Sepúlveda, A., Farías, L., García, R., Rondanelli, R.,J., Ponce, R.,Vargas, F., Rojas, M., Boisier, J.P., C., Carrasco, Little, C., Osses, M., Zamorano, C., Díaz-Hormazábal, I., Ceballos, A., Guerra, E., Moncada, M. & Castillo, I. (2020). “Incendios forestales en Chile: causas, impactos y resiliencia”. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2, Universidad de Chile, Universidad de Concepción y Universidad Austral de Chile.
- [10] Kuhlken, R. (1999). “Settin’ the Woods on Fire: Rural Incendiarism as Protest”. *Geographical Review*, Vol. 89, no. 3 (Jul., 1999): 343-363. published by the American Geographical Society. <https://www.jstor.org/stable/216155>
- [11] Maingi, J. & Henry, M. (2007). “Factors influencing wildfire occurrence and distribution in eastern Kentucky, USA”. *International Journal of Wildland Fire*, 2007, Vol. 16: 23–33. <https://www.publish.csiro.au/journals/ijwf>
- [12] Martinez, J., Chuvieco, E. & Martin, P. (2008). “Estimation of risk factors of human ignition of fires in Spain by means of logistic regression”, *Proceedings of Second International Symposium on Fire Economics, Planning and Policy: A Global View*, General Technical Report PSW-GTR Vol. 208: 265-278.
- [13] Mayer, L. & Tikka, P. (2006). “Biodiversity conservation incentive programs for privately owned programs”. *Environmental Science and Policy* Vol. 9, no.7-8 (Nov-Dec 2006): 614-625. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2006.07.004>
- [14] Michetti, M. & Pinar, M. (2013). “Forest Fires in Italy: An Econometric Analysis of Major Driving Factors”. CMCC Research Paper No. 152, Disponible en SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2332068> o <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2332068>
- [15] Nielsen, M. Ellison, A. & Moseley, C. (2012). “The effect of large wildfire on local labor markets. Ecosystem Workforce Program”. Working paper N° 42. Fall 2012. Institute for a Sustainable Development, University of Oregon. https://ewp.uoregon.edu/sites/ewp.uoregon.edu/files/WP_42.pdf
- [16] Pausas, J. G. & Fernández-Muñoz, S. (2012). “Fire regime changes in the Western Mediterranean Basin: from fuel-limited to drought-driven fire regime”. *Journal of Climate Change*, Springer, Vol. 110: 215-226. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0060-6>
- [17] Paziienza, P. & Beraldo, S. (2004). “Adverse Effects and Responsibility of Environmental Policy: The Case of Forest Fires”. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management* Vol. 11: 222–231. Published online in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com). <https://doi.org/10.1002/csr.068>

-
- [18] Pinol, J., Terradas, J. & Lloret, F. (1998). “Climate warming, wildfire hazard, and wildfire occurrence in coastal eastern Spain”. *Journal of Climate Change*, Springer, Vol.38: pp. 345-357. <https://doi.org/10.1023/A:1005316632105>
- [19] Programa de Gestión y Economía Ambiental, Progea. (2020). “Aporte Económico y Social del Sector Forestal en Chile y Análisis de Encadenamientos”. Depto de Ingeniería Industrial, Universidad de Chile.
- [20] Tuček J. & Majlingová A. (2009). “Forest Fire Vulnerability Analysis”. In: Strelcová K. et al. (eds) *Bioclimatology and Natural Hazards*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8876-6_19
- [21] Urzúa, N. & Cáceres, F. (2011). “Incendios forestales: principales consecuencias económicas y ambientales en Chile”. *Revista Interamericana de Medioambiente y Turismo* Vol.7, no. 1: 18-24.
- [22] Vélez, R. (2000). “Las quemadas incontroladas como causa de Incendios Forestales”. *Cuadernos de la S.E.CE*, no. 9 (junio 2000): 13-26.
- [23] Wooldridge, J. (2010). “Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data”. 2nd Edition. The MIT Press.

Anexo: Ley 20.653

Artículo 22a) Cualquiera que ocasione fuego infringiendo las disposiciones legales y reglamentarias y a consecuencia de ello destruyere bosques, mieses, pastos, montes, plantíos o formaciones xerofíticas, ganado, construcciones u otros bienes pertenecientes a terceros o afectare gravemente el patrimonio forestal del país, será castigado con presidio menor en sus grados medio a mínimo y multa de cincuenta a ciento cincuenta unidades tributarias mensuales.

Artículo 22bis) se prohíbe encender fuego o la utilización de fuentes de calor en las **Áreas Silvestres protegidas** en todos aquellos lugares no autorizados y señalados por la autoridad a cuyo cargo se encuentre la administración de las mismas. El incumplimiento de la prohibición referida en el inciso precedente hará incurrir a quien utilizare el fuego o cualquier fuente de calor en la pena de presidio menor en su grado mínimo a medio y multa de once a cincuenta unidades tributarias mensuales.

Artículo 22ter) El que por mera imprudencia o negligencia en el uso del fuego u otras fuentes de calor en zonas rurales o en terrenos urbanos o semiurbanos destinados al uso público, provocare incendio que cause daño en los bienes a que alude el inciso segundo del artículo 22, sufrirá la pena de presidio menor en su grado medio a máximo y multa de cincuenta a ciento cincuenta unidades tributarias mensuales. Si el incendio se produjera en un Área Silvestre Protegida o se propagare a alguna de ellas, el responsable del uso del fuego u otras fuentes de calor en las zonas y terrenos a que alude el inciso anterior, sufrirá la pena de presidio menor en su grado máximo y multa de cien a doscientas unidades tributarias mensuales.

Anexo 2: Resumen de variables de control

Controles: definiciones, coeficientes esperados y fuentes			
Ln(temp)	Temperatura máxima: Logaritmo del promedio de la temperatura máxima anual de cada región	positivo	Anuario climatológico, Dirección General Aeronáutica Civil
Ln(prec(-1))	Precipitaciones rezagadas: Logaritmo del total de mm. acumulados del año anterior de cada región	negativo	Anuario climatológico, Dirección General Aeronáutica Civil
Ln(humedad)	Porcentaje de humedad relativa en el aire: Logaritmo del promedio de porcentaje de humedad relativa entre la mañana y la tarde de cada región	negativo	Anuario climatológico, Dirección General Aeronáutica Civil
Ln(gdpagr)	PIB agrícola: Logaritmo de la razón entre PIB agrícola y PIB total de cada región	incierto	Boletín Estadístico, Banco Central de Chile
Ln(dpop)	Densidad poblacional: Población en cada región dividida por la superficie correspondiente en km ² , en logaritmo.	incierto	Proyecciones de Población, INE
Ln(educ)	Nivel de educación: Logaritmo del número de matriculados en la educación superior de cada región, dividido por la población regional entre 20 y 25 años.	positivo	Estadísticas de la Educación, Ministerio de Educación

Tabla 7: Variables de control: definición, coeficientes esperados y fuentes

Variables: definiciones, coeficientes y fuentes			
Ln(dvial)	Densidad vial por región: Suma de red vial pavimentada + no pavimentada, dividido por la superficie en km ² de cada región, en logaritmo.	incierto	Dimensionamiento y características de la red vial, Ministerio Obras Públicas
Ln(crime_rur)	Criminalidad rural en cada región: Logaritmo de la tasa de aprehendidos por delitos contra la propiedad en zonas rurales, por cada 100 mil habitantes	positivo	Estadísticas delictivas, Subsecretaría de Prevención del delito
Tur	Flujo de turistas en cada región: n° de visitantes a zonas SNASPE	incierto	Estadísticas de Visitación, CONAF
Ln(splant)	Superficie Forestal Plantada: Logaritmo de la superficie forestal plantada en cada región	positivo	Anuario Forestal, INFOR

Tabla 8: Variables de control: definición, coeficientes esperados y fuentes (Continuación)

Anexo 3: Delitos contra la propiedad¹³

Delitos contra la propiedad (algunos ejemplos)
Robo en lugar no habitado
Abigeato
Receptación
Estafas y otras defraudaciones
Hurto de hallazgo
Robo de vehículo motorizado
Daños simples
Daños calificados
Robo de accesorios a vehículos
Hurto supermercado o centros comerciales
Incendio de bosques

Tabla 9: Algunos ejemplos de delitos contra la propiedad

¹³Fuente: Informe Anual de estadísticas policiales, INE y Carabineros de Chile.

Anexo 4: Listado de comunas urbanas

Región	Provincia	Comuna	
V	Petorca	Zapallar	
		San Antonio	Algarrobo
	Valparaíso		Cartagena
			El Quisco
			El Tabo
			San Antonio
			Concón
			Quilpué
			Quintero
			Valparaíso
			Villa Alemana
	Viña del Mar		
VI	Cachapoal	Rancagua	
VII	Talca	Talca	
VIII	Concepción	Chiguayante	
		Concepción	
		Coronel	
		Lota	
		Penco	
		San Pedro de la Paz	
		Tomé	
	Ñuble	Chillán	
		Chillán Viejo	
IX	Cautín	Temuco	
X	Llanquihue	Puerto Montt	
	Osorno	Osorno	
	Valdivia	Valdivia	
RM	Cordillera	Puente Alto	
	Maipo	San Bernardo	

Tabla 10: Comunas Urbanas de Chile (Berdegué et al, 2010)

Anexo 4: Listado de comunas urbanas (Continuación)

Región	Provincia	Comuna
	Santiago	Cerrillos
		Cerro Navia
		Conchalí
		El Bosque
		Estación Central
		Huechuraba
		Independencia
		La Cisterna
		La Granja
		La Pintana
		La Reina
		Las Condes
		Lo Barnechea
		Lo Espejo
		Lo Prado
		Macul
		Maipú
		Ñuñoa
		Pedro Aguirre Cerda
		Peñalolén
		Providencia
		Pudahuel
		Quilicura
		Quinta Normal
		Recoleta
		Renca
		San Joaquín
		San Miguel
		San Ramón
		Santiago
		Vitacura
	Talagante	Padre Hurtado
		Peñaflor

Tabla 11: Comunas urbanas de Chile, continuación (Berdegué et al, 2010)

Anexo 5: Frecuencia promedio del total de incendios forestales, por región¹⁴

AÑO	V	RM	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2003	1086	573	238	513	3185	1541	283	15	26
2004	875	743	292	465	2277	1277	346	37	14
2005	956	496	279	403	2745	1391	249	32	29
2006	866	629	176	404	2108	840	235	31	23
2007	874	534	235	295	1943	974	228	20	15
2008	850	269	218	322	3193	1412	590	57	21
2009	642	429	215	265	2911	1075	537	27	25
2010	713	447	225	322	1837	419	64	6	17
2011	824	590	221	479	2005	580	166	17	22
2012	901	299	169	504	2517	740	252	38	13
2013	952	305	203	585	2409	851	246	18	11
2014	843	341	195	684	2858	968	339	27	5
2015	865	442	235	688	3644	1496	582	24	19
2016	760	274	205	796	2691	1344	516	50	25
2017	961	388	255	631	1951	753	170	21	28
2018	986	501	296	802	2116	969	241	21	12
2019	905	532	344	951	2134	1352	266	40	20
2020	629	416	402	1161	2790	1802	276	19	7
\bar{x}	860	456	245	571	2517	1099	310	28	18

Tabla 12: Frecuencia promedio de incendios forestales por región

¹⁴Fuente: <https://www.conaf.cl/nuestros-bosques/bosques-en-chile/estadisticas-forestales/>

Anexo 6: Frecuencia de incendios forestales intencionales y por negligencia¹⁵

AÑO	X
2003	2527
2004	1853
2005	2300
2006	2244
2007	2042
2008	2834
2009	2540
2010	1721
2011	2108
2012	2799
2013	2422
2014	2529
2015	3625
2016	2770
2017	1918
2018	2117
2019	2679
2020	3704

Tabla 13: Suma de incendios forestales intencionales y por negligencia. Total anual a nivel nacional

¹⁵Fuente: <https://www.conaf.cl/nuestros-bosques/bosques-en-chile/estadisticas-forestales/>