



Universidad de los Andes
Facultad de Medicina
Departamento de Epidemiología y Estudios en Salud

Mercurio y efectos psiquiátricos tras incendios forestales: Estudio ecológico

Tesis para optar al grado de Magister en Epidemiología

Melissa Anette Schulthess Börgel

Tutora: Dra. Patricia Isabel Matus Correa

Santiago, Chile, año 2021

DEDICATORIA:

Dedico esta tesis a mis padres y hermanos, quienes me han dado el apoyo para cumplir mis metas y cariño para no abandonar ninguna de ellas. A mi abuelo, Don Adolfo Börgel Olivares, quien es geógrafo, y me ha enseñado con paciencia y dedicación, y así poder implementar las herramientas geográficas a la investigación en toxicología.

Y a mis abuelos y tíos que ya no están conmigo.

AGRADECIMIENTOS:

Agradezco de corazón al equipo docente del Magister en Epidemiología, por su vocación y dedicación, que me han permitido ahondar conocimientos y obtener las habilidades necesarias para poder mejorar día a día en esta rama de la ciencia; a la Universidad de Los Andes, por aceptarme en consideración a mis méritos académicos y expertiz, y no a mi título profesional; a mi profesora guía, Dra. Patricia Matus, por sus constantes correcciones, guía y apoyo incondicional durante el arduo proceso de titulación; y a mis compañeros de cohorte, con quienes el paso por este magister fue más enriquecedor.

A todos ustedes, muchísimas gracias.

Contenido

DEDICATORIA:	1
AGRADECIMIENTOS:	1
ÍNDICE DE FIGURAS:	4
ÍNDICE DE TABLAS:	4
RESUMEN:	5
INTRODUCCIÓN:	7
SUPUESTOS DE LA INVESTIGACIÓN:	15
OBJETIVOS:	16
MATERIALES Y MÉTODOS	17
TIPO DE ESTUDIO	17
POBLACIÓN	17
FUENTES DE INFORMACIÓN	18
MUESTRAS AMBIENTALES	22
ÁNÁLISIS ESTADÍSTICO	23
IMPLICANCIAS ÉTICAS	33
RESULTADOS:	35
ÁNÁLISIS DE LA EXPOSICIÓN:	35
ÁNÁLISIS GEOESPACIAL:	35
ÁNÁLISIS DE RIESGO:	38

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA:	42
MODELO ESTADÍSTICO:	61
DISCUSIÓN:	63
LIMITACIONES:	65
CONCLUSIONES:.....	67
REFERENCIAS:.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura 1. Centros de salud de la Región del Maule, Eventos de Incendio y Megaincendio para la Temporada 2016 – 2017.....	36
Figura 2. Centros de salud de la Región del Maule relacionados con Eventos de Incendio y Megaincendio para la Temporada 2016 – 2017.....	37
Figura 3. Distribución de incendios temporada 2016 – 2017	39
Figura 4. Distribución de megaincendios temporada 2016 – 2017.....	40
Figura 5. Presencia de vegetación acumuladora de mercurio en incendios en general, eventos de incendio, y megaincendios para la temporada 2016 – 2017 .	41
Figura 8. Gráfico de distribución de casos totales por causa y periodo	44
Figura 9. Distribución de casos totales por periodo según sexo	46
Figura 10. Distribución de casos en los grupos etarios, por periodo evaluado	47
Figura 11. Distribución de casos totales por periodo y provincia.....	48
Figura 12. Distribución de casos totales por periodo y provincia, omitiendo trastornos de ansiedad.....	49
Figura 13. Distribución de casos totales por periodo y grupo etario 0 a 29 años ..	51
Figura 14. Distribución de casos totales por periodo y grupo etario 30 a 59 años	52
Figura 15. Distribución de casos totales por periodo y grupo etario 60+ años	53
Figura 16. Distribución de casos totales por periodo y grupo etario 0 a 29 años ..	54
Figura 17. Distribución de casos totales por periodo y grupo etario 30 a 59 años	55
Figura 18. Distribución de casos totales por periodo y grupo etario 60+ años	56

ÍNDICE DE TABLAS:

Tabla 1. Definición operacional de variables estudiadas.....	26
Tabla 2. Margen de Riesgo calculado para mercurio en aire	38
Tabla 3. Resumen de casos por causa	43
Tabla 4. Resumen de tasa cada 100.000 habitantes por causa.....	43
Tabla 5. Frecuencia de casos por grupo etario y periodo	57

RESUMEN:

El mercurio corresponde a un metal traza presente naturalmente en los ecosistemas, y posee la capacidad de acumularse en ellos. Existen diversas especies vegetales capaces de concentrar el mercurio, al extraerlo de los suelos, no obstante, cuando ocurren incendios forestales, el mercurio capturado es liberado al ambiente. El mercurio en aire puede ingresar por el tracto respiratorio de humanos y otras especies animales, causando potencialmente mercurialismo. En el contexto de las tormentas de fuego de la temporada 2016 – 2017 en la región del Maule, se desea evaluar la existencia de relación entre incendios de gran magnitud de vegetación acumuladora de mercurio y consultas por enfermedad psiquiátrica en la región a estudiar. Para ello, se efectuó un muestreo en terreno, que permitió determinar la tasa de liberación de mercurio aproximada en estos eventos de incendios, determinando en primer lugar, que las concentraciones de exposición estimadas se encuentran en nivel de riesgo para la población. Con este antecedente, se procedió al análisis estadístico de bases de datos de salud, del Servicio de Salud Maule, con respecto a atenciones en salud mental, para determinar si las variaciones entre periodos podrían estar o no relacionadas con potenciales efectos secundarios a la exposición a mercurio asociada a los incendios forestales. De los datos de salud, se establece que existe un aumento en los casos posteriores a los incendios, para las patologías seleccionadas, y estas se estabilizan a los 18 meses desde los incendios. Si bien se observa una relación positiva entre los megaincendios, tipo de vegetación afectada, eventos de incendio y patologías psiquiátricas, dado que no

existen mediciones biológicas en pacientes humanos, no es posible establecer una relación sólida causal entre ambos eventos.

Palabras clave: mercurio, mercurialismo, incendios, incendios forestales, salud mental, Maule

INTRODUCCIÓN:

El mercurio se considera un metal traza que puede acumularse tanto en ecosistemas terrestres como acuáticos. Esto implica que las concentraciones ambientales de él son muy reducidas, sin embargo, se puede acumular en animales y plantas. A nivel atmosférico, la forma dominante en aire corresponde a Hg^0 o mercurio elemental. Esta forma posee una vida media larga en el aire, de aproximadamente 1 año. El mercurio gaseoso (Hg^0), se oxida a Hg^{2+} y en este estado, se deposita rápidamente en las superficies, y se oxida a metilmercurio, compuesto que se bioacumula en las cadenas tróficas. [1, 2]

En el contexto de las cadenas tróficas, es usual detectar altas concentraciones de metilmercurio en peces de larga vida y que se ubican en una posición alta en la cadena alimenticia. Es por ello por lo que se restringe el consumo de peces en poblaciones sensibles (mujeres en gestación, por riesgo de toxicidad fetal, teratogenicidad; población expuesta a mercurio durante el trabajo). [2]

La exposición en humanos a mercurio puede darse, principalmente, por vía oral, asociado al consumo de alimentos que contengan altos niveles de este metal en su forma orgánica (metilmercurio) o por vía inhalatoria, como mercurio elemental. [3, 4]

El órgano blanco más sensible frente a las exposiciones a mercurio metálico por vía aérea es el sistema nervioso central, provocando alteraciones del funcionamiento de cerebro que ha sido confundido incluso con neurosis o psicosis funcional [5]

pero que es de rara observación clínica [6]. Históricamente se ha asociado con encefalopatías ocupacionales o síndrome del sombrerero loco [7]. El cuadro clínico específico neurológico puede tardar desde horas hasta 1 año en iniciar síntomas desde la primera exposición aguda o crónica [6, 8-10], y se puede presentar como:

- Encefalopatía difusa tóxica aguda: euforia leve, estupor, coma y muerte; desinhibición, cefalea, convulsiones, nistagmo lateral, incoordinación, ataxia en la marcha, tremor de intención
- Encefalopatía difusa tóxica crónica: alteraciones cognitivas, alteraciones en el comportamiento y estado anímico, manía (ej. Sombrerero loco), alteraciones en coordinación, pérdida de memoria
- Encefalopatía selectiva: alteraciones de corteza occipital
- Neuropatía periférica crónica
- Desórdenes esquizofrénicos
- Manía o síndrome del sombrerero loco
- Desorden de ansiedad generalizado
- Síndrome de astenia vegetativa o eretismo (irritabilidad, timidez excesiva, pérdida en la confianza, y nerviosismo)

[6, 8-12]

Se han reportado pérdida de la audición, perturbaciones a la visión, incluso alucinaciones; otros signos reportados corresponden a depresión, ansiedad, fobias, comportamiento sicótico, sensibilidad interpersonal, y hostilidad. Estos efectos se pueden manifestar entre pocas horas y hasta a los 6 meses posteriores a la

exposición por vía inhalatoria. Usualmente, los efectos más graves, como neuropatía, suelen desaparecer al cabo de 1 año posterior a la exposición, no obstante, es posible observar secuelas en la percepción visual y habilidades construccionales, memoria no verbal y razonamiento abstracto. Estos efectos pueden llegar a ser permanentes, a pesar de someter a los individuos a tratamiento de quelación y terapia funcional. [11, 12]

Dados los estudios existentes y datos experimentales y de casos, por parte de distintas entidades internacionales, se han establecido niveles de exposición aérea en humanos, correspondientes al Nivel Más bajo de Efecto Adverso Observado o LOAEL por sus siglas en inglés (Lowest Observed Adverse Effect Level). Estos LOAEL en aire son:

- Exposición Aguda (≤ 14 días): $< 0,01 \text{ mg/m}^3$
- Exposición Subaguda o intermedia (15 – 364 días): $< 0,01 \text{ mg/m}^3$
- Exposición Crónica (≥ 365 días): $\leq 0,0001 \text{ mg/m}^3$

[11, 12]

Adicionalmente, la Agencia de Registro de Sustancias Tóxicas de Estados Unidos (ATSDR) calculó el Nivel Mínimo de Riesgo o MRL por sus siglas en inglés (Minimal Risk Level) para mercurio, el cual corresponde a $0,0002 \text{ mg/m}^3$ [13]. Este nivel corresponde al valor donde se observa el menor riesgo posible de manifestar efectos nocivos para la población general, expuesta de manera diaria u ocasional a una sustancia tóxica en el aire.

Actualmente, se posee conocimiento amplio sobre las fuentes antropogénicas (fundiciones, combustibles fósiles, minería) de mercurio, no obstante, las fuentes naturales y los incendios forestales en particular, no han sido bien analizados. Se ha estimado que las emisiones anuales de mercurio provenientes de incendios forestales son de 104 – 1.330 toneladas/año, estimándose que Sudamérica aporta un 14 – 16,6% de las emisiones atmosféricas por incendios forestales (95 a 120 toneladas/año). [2, 14]

La cantidad de mercurio presente en el suelo asociada a materia orgánica y/o vegetal, depende de la posición del entorno (capas del suelo o ubicación en la planta), etapa de crecimiento de la vegetación, composición de las especies, cantidad de materia orgánica del suelo (MOS), y frecuencia de quemas; es decir, esta cantidad de mercurio liberado en un incendio se limita por la cantidad de mercurio almacenado en el ecosistema, particularmente el suelo previo a la quema. Asociado a lo anterior, también son importantes las características del incendio, donde la temperatura y duración del calor en la columna de suelo son factores importantes para el control del mercurio y la combustión de MOS y su emisión a la atmósfera. La severidad de un incendio varía según la topografía, variaciones en disponibilidad de combustible, humedad del suelo, clima y dinámica del fuego. En los incendios forestales naturales, las temperaturas sobrepasan los 200 – 330°C, lo que permite la degradación del enlace de mercurio con ácido húmico. Por otra parte, al medir en aire los niveles de mercurio proveniente de incendios forestales, se ha detectado hasta un 13% del mercurio volatilizado, el cual se encuentra asociado al material particulado. Estas liberaciones de mercurio, se presume representan una

fuente importante de mercurio al ciclo global, llegando a representar un 8% de las emisiones antropogénicas y naturales. [2, 15]

Otro factor importante en la liberación de mercurio al medioambiente a partir de incendios forestales consiste en el tipo de vegetación implicada. Se ha establecido que la vegetación es capaz de captar hasta más de 1.000 toneladas por año del metal. Esto evita que el mercurio se deposite en suelos y sistemas acuáticos, al actuar como entes secuestradores de mercurio. Mediante pruebas analíticas, se ha calculado que el 30% del mercurio retenido por eucaliptos (pérdida de 1 – 1,1 g/Há) es liberado en incendios forestales, mientras que otra especie de amplio uso forestal y que se encuentra presente en los bosques boreales (pino), se asocia a liberaciones que alcanzan 1,5 g/Há. Este valor puede incrementar incluso hasta $6,7 \pm 2$ g de Hg/Há liberados en incendios, en casos de zonas ricas en mercurio, como aquellas cercanas a los yacimientos mineros. Por otra parte, se ha analizado que, frente a precipitaciones posteriores a incendios forestales, estas son capaces de movilizar el mercurio restante en las cenizas (1 g/Há), quedando sólo 0,5 g/Há retenido en el suelo, y el resto es movilizado a cursos de agua. Las mayores pérdidas de mercurio durante un incendio se producen entre 150 y 550°C del fuego, siguiendo un comportamiento lineal, llegando hasta una disminución casi total (<1% del valor inicial) a 750°C. [2, 14, 16, 17]

Adicionalmente, en los eventos de incendio forestal, se observa que se producen efectos en salud, ya sea a nivel respiratorio como mental, además de las lesiones que se pudiera dar. En el caso de las patologías mentales asociadas a incendios,

estas se inician como desórdenes de estrés agudo, asociado a una reacción adaptativa, la cual evoluciona a desorden postraumático (PTSD). Con el paso del tiempo, se observa que incrementan los reportes de enfermedad mental, mientras que las patologías respiratorias disminuyen. Entre los signos más comunes se presentan ansiedad y depresión. En general, es posible observar PTSD a partir de los 3 meses posteriores a un incendio forestal, hasta 29 meses posteriores, siendo los adolescentes el grupo potencialmente más afectado. [18-20]

Se han descrito los siguientes desórdenes mentales relacionados a eventos traumáticos [21, 22]:

- PTSD
- Desorden de estrés agudo (ASD)
- Depresión mayor
- Trastorno de duelo complejo persistente (duelo complicado / trastorno de duelo prolongado)
- Desórdenes en uso de sustancias
- Desorden de ansiedad generalizado
- Desorden de ajuste
- Desórdenes mentales orgánicos, secundarios a injuria de cabeza, exposición tóxica, enfermedad y deshidratación
- Somatización
- Factores psicológicos que afectan una enfermedad física

Para poder establecer el cuadro clínico psicológico asociado al evento traumático, se han desarrollado distintas herramientas, como la terapia de procesos cognitivos. Es importante destacar que, de acuerdo con estudios internacionales, para el caso de las pruebas para diagnosticar PTSD, siempre se indaga por posibles exposiciones a sustancias potencialmente tóxicas que generen cuadros clínicos similares a PTSD. [22]

Basado en lo anterior, se resume que:

- a. Los incendios forestales producen efectos sobre salud mental humana, manifestados en cuadros clínicos específicos
- b. Los incendios forestales se asocian a liberación de distintos contaminantes (gases asfixiantes y material particulado), destacando mercurio metálico o elemental, en estado gaseoso; en este contexto, se han caracterizado dos especies de amplio uso forestal, en cuanto a su capacidad de liberar mercurio en incendios que son el pino y el eucalipto
- c. El mercurio, en estado gaseoso, es capaz de penetrar las vías respiratorias y alcanzar el tejido nervioso central, lo que puede llevar al desarrollo de patologías neuropsiquiátricas

Desde la antigüedad, los incendios forestales de Chile han moldeado el paisaje del país, no obstante, al igual como ocurre en distintas partes del mundo, los incendios (patrón, frecuencia e intensidad) han crecido a un ritmo alarmante, en relación con los cambios en las especies productivas, la proximidad entre las áreas urbanas y

bosques propensos a incendios, asociados además al cambio climático [23, 24]. En este contexto, es que es necesario evaluar y adaptar las medidas de prevención y manejo de bosques, plantaciones, incendios y poblaciones urbanas [24].

En consideración a que en Chile es frecuente la situación de incendios forestales, incluso en los últimos años con características de desastre [25], con la información técnica presentada y los casos analizados, se puede plantear la duda razonable **de cuáles son los impactos en salud mental de incendios forestales, asociados a emisiones de mercurio.**

En este marco, es posible establecer que la relación entre incendios forestales, enfermedades psiquiátricas y niveles de mercurio liberados al medio ambiente en estos desastres naturales no ha sido evaluada en Chile.

Dado lo anterior, esta investigación como primera en su tipo, es de interés dado que permite aportar evidencia que promueva la adopción de medidas de prevención secundaria, diagnóstico y tratamiento precoz, para disminuir la carga de enfermedad que estos eventos provocan.

SUPUESTOS DE LA INVESTIGACIÓN:

Tomando en consideración los antecedentes señalados en la introducción, se espera que se observe un incremento en el número de atenciones psiquiátricas (depresión grave con psicosis, otras demencias, esquizofrenia y trastornos de personalidad) posteriores a incendios de plantas acumuladoras de Hg (eventos de gran tamaño o en gran cantidad de eventos).

Considerando el escenario de un evento de gran magnitud ocurrido en la temporada 2016 – 2017, en la Región del Maule, se plantea como hipótesis de investigación que existe una asociación positiva entre las exposiciones ambientales a mercurio proveniente de incendios forestales ocurridos en las tormentas de fuego de la temporada 2016 - 2017, y patologías mentales de la población de la Región del Maule.

OBJETIVOS:

General: Evaluar la existencia de relación entre incendios de gran magnitud de vegetación acumuladora de mercurio y consultas por enfermedad psiquiátrica en la Región del Maule durante el periodo junio 2015 – junio 2018.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Establecer si se existió exposición a mercurio, mediante la magnitud aproximada de las concentraciones de mercurio liberadas en las tormentas de fuego de 2016 – 2017.
2. Determinar los valores de exposición teóricos y extrapolados alcanzados y si estos se encuentran en rango de seguridad o riesgo para la salud humana.
3. Demostrar la asociación entre patologías seleccionadas y los eventos de incendios y/o megaincendios.

MATERIALES Y MÉTODOS

TIPO DE ESTUDIO

El estudio corresponde a un estudio ecológico. Esto es debido a que el estudio se centra en un área específica geográficamente, definida como la Región del Maule.

POBLACIÓN

La muestra evaluada proviene de la población que se atiende en los centros del Servicio de Salud Maule (SSMaule), donde sólo se consideran para este estudio a los centros de salud que, mediante filtros por buffer utilizando un sistema de información geográfica (SIG), se encontraban en un radio de 2Km de influencia desde los incendios de la temporada 2016 – 2017.

Respecto de la población específica de estos centros, se seleccionaron a aquellos con atenciones de salud mental de 7 patologías específicas, potencialmente relacionadas con exposición a mercurio, y cuyas atenciones hayan sido registradas entre junio de 2015 y junio de 2018, ambos periodos inclusivos. Adicionalmente, Se considera a la población de todas las comunas de la Región del Maule que cumpla los criterios de inclusión detallados.

No se consideraron individuos registrados para otras patologías mentales registradas en las bases de datos del SSMaule.

FUENTES DE INFORMACIÓN

Para el análisis de la relación entre las zonas de mayor riesgo y enfermedades psiquiátricas, se considera la base de datos del DEIS sobre Atención en Centros de Salud para Salud Mental, la cual presenta los datos de nivel 2° y 3° para atenciones de Salud Mental en los centros del Servicio de Salud Maule (SSMaule), donde se evaluó la frecuencia estacional de depresión grave con psicosis, otras demencias, esquizofrenia y trastornos de personalidad, y la presencia o ausencia de incendios de gran magnitud en la misma temporalidad. Esta información se obtuvo desde el Portal Oficial del SSMaule, de los Registros Estadísticos Mensuales (REM), en los Reportes de Series, Serie P6 (<https://www.ssmaule.cl/dig/bioestadistica/>). [26]

Esta base de datos cuenta con la limitante de que agrupa enfermedades por familia, no separando, por ejemplo, la depresión grave de la depresión grave con psicosis, por tanto, este diagnóstico se omitió del presente estudio. El diagnóstico de PTSD no está consignado en los registros oficiales del SSMaule ni DEIS. En el caso de los trastornos de personalidad, si bien no se relacionan como tal con mercurialismo, se puede confundir la Encefalopatía difusa tóxica crónica con un trastorno de personalidad, dado que presentan signos son comunes, y sólo se pueden distinguir con mediciones de mercurio en sangre.

Se consideraron los registros de Salud Mental desde 1 año antes del inicio de la temporada de incendios (junio de 2015) hasta 1 año después del término de la temporada seleccionada (junio de 2018). Esta base de datos cumple con la Ley 19.628/1999 sobre la protección de la vida privada.

Mercurio y efectos psiquiátricos tras incendios forestales: Estudio ecológico

Los datos se obtuvieron como planillas de cálculo únicas por centro de salud cada 6 meses, las cuales se depuraron y recopilaron en una nueva planilla, donde se clasificaron por centro de salud, para 7 patologías, 7 periodos de exposición, y grupos etarios, agregando, además, los antecedentes de eventos de incendio.

En el caso de los incendios forestales y tipo vegetacional, se consultaron las bases del IDE y CONAF, las cuales son públicas, para obtener los datos de número de incendios, superficie afectada, localización de estos incendios, y tipo de vegetación principal afectada.

En las bases del IDE (Infraestructura de Datos Geospaciales) (<https://www.ide.cl/index.php/informacion-territorial/descargar-informacion-territorial>) corresponden a una red de instituciones públicas que, de manera coordinada y colaborativa, ponen a disposición de la comunidad de manera gratuita y abierta, información geoespacial actualizada y fiable, para uso en la gestión pública y privada. Esta base de datos es una iniciativa del Ministerio de Bienes Nacionales. En esta base de datos se obtuvieron las bases de cartografía digital (geodatos) a utilizar:

- División regional
- División provincial
- División comunal
- Ubicación de Centros de Salud Servicio de Salud Maule (SSMaule)
- Ubicación de eventos de incendio

- Ubicación de megaincendios (incendios de gran magnitud)

[27]

En la base estadística de CONAF, se consultaron dos secciones. La primera corresponde a las estadísticas históricas de CONAF, donde se obtuvieron los registros estadísticos de incendios forestales por temporada (<https://www.conaf.cl/incendios-forestales/incendios-forestales-en-chile/estadisticas-historicas/>). [25]

La segunda sección consultada, corresponde al Sistema de Información Territorial (SIT) de CONAF (<https://sit.conaf.cl/>), donde se obtuvieron:

- Catastro Recursos Vegetacionales por Región 2016 – Región del Maule [28]

CONAF separa los incendios en dos tipos según su tamaño, y los considera como estadísticas separadas. Los incendios, considerados como “eventos de incendio”, son aquellos incendios puntuales cuya extensión es inferior a 200 hectáreas. Por otro lado, los incendios de (gran) magnitud o “megaincendios” son aquellos cuya extensión es superior o iguales a las 200 hectáreas. Estas definiciones se relacionan con un criterio asociado al impacto en el ambiente y a la carga de trabajo necesaria para su manejo por parte del personal de CONAF. Estos se agrupan como “incendios en general”, sin considerar la magnitud. [29]

Con los antecedentes de incendios, se completó la planilla de cálculo, la cual, posteriormente, se exportó para su uso en el programa estadístico.

Dado que se carece de mediciones poblacionales de Hg antes y después de los eventos de incendios, que sería el método más directo de medición de la exposición se hace necesario primero establecer si existe riesgo o no para la población.

Para ello, es deseable establecer si los niveles teóricamente emitidos de mercurio posteriores a los incendios forestales revisten riesgo para la salud de las personas, y, basado en esta información, analizar la relación entre las zonas caracterizadas como en riesgo debido a la cantidad de mercurio liberado con el número de atenciones psiquiátricas por causas específicas.

Por tanto, en consideración a que la explotación minera [30-32], las tormentas de fuego de la temporada de incendios 2016 – 2017, y a que la mayor cantidad de hectáreas afectadas en Chile se dio en la región del Maule [25], se presenta la modelación de la exposición de las poblaciones de la Región, las provincias y las áreas específicas de los incendios.

Para ello, se consideró una tasa de liberación de mercurio de $6,7 \pm 2$ g Hg/Há afectada [2], las superficies regionales y provinciales, y las superficies afectadas, con un área buffer de 0, 1, 5 y 10% de las áreas incendiada; un Límite de Riesgo Mínimo (MRL) de $0,0002 \text{ mg/m}^3$ para protección a la salud, y exposiciones a altura de nariz de 1 y 2 m, modelando las concentraciones de exposición para niños y adultos, respectivamente.

Por otro lado, si bien el valor teórico calculado puede superar el MRL, este valor no refleja la exposición real. Para establecer la exposición real, es necesario efectuar

distintas mediciones que permitirán extrapolar estos valores obtenidos a la superficie afectada y, así, obtener un valor extrapolado que refleja de manera más certera lo ocurrido en el periodo 2016 – 2017.

MUESTRAS AMBIENTALES

Para dar cumplimiento a lo anterior, entre el 04 y 08 de diciembre de 2019, se efectuó una visita en terreno a un sitio localizado en las orillas del Tranque Tutuvén. En este lugar, se tomaron 3 muestras de suelo. Las muestras recolectadas corresponden a muestras de áreas no alcanzadas por los incendios (1 muestra) y áreas afectadas en los incendios de 2016-2017 (2 muestras). Estas muestras se tomaron a una profundidad de 30 cm, para una superficie total de 50x50 cm, obteniéndose entre 150 y 300 gramos de material de suelo. Estas muestras fueron tamizadas con un tamiz de 38 μm , y el material tamizado fue sometido a análisis de mercurio.

Si bien las muestras se recolectaron casi 3 años después de los eventos de incendios de la temporada 2016 – 2017, dada la profundidad de estas y por las características de propiedades fisicoquímicas del elemento a detectar, estas no presentan pérdidas significativas desde el punto de vista analítico.

Para establecer la pérdida de los suelos afectados en estos incendios, se efectuó la medición analítica de los niveles de mercurio en estas muestras de suelo, y la diferencia simple entre los resultados de suelos afectados y no afectados se utilizó

para establecer la tasa de liberación de mercurio aproximada para los eventos de incendios de la temporada 2016 – 2017 en la Región del Maule.

ÁNÁLISIS ESTADÍSTICO

Las variables y su codificación estadística estudiadas son:

- Frecuencia de patología psiquiátrica específica (casos) por semestre del año, según provincia

- Patologías y su codificación CIE-10 (at): Trastornos de ansiedad (F06.4, F40, F41); Alzheimer y otras demencias (F00 a F03); Trastornos conductuales asociados a demencia (F05); Esquizofrenia (F20 – F22 – F24 – F29); Primer episodio esquizofrenia con ocupación regular (F23.); Retraso mental (F70 – F79); Trastorno de personalidad (F07, F60, F61, F69)

Estas patologías seleccionadas corresponden a diagnósticos diferenciales de mercurialismo, dado que el curso de estas enfermedades es similar clínicamente a la intoxicación aguda y crónica por mercurio.

- Provincias (prov) y comunas (com):
 - Cauquenes: Cauquenes, Chanco y Pelluhue
 - Curicó: Curicó, Hualañé, Licantén, Molina, Rauco, Romeral, Sagrada Familia, Teno y Vichuquén
 - Linares: Colbún, Linares, Longaví, Parral, Retiro, San Javier, Villa Alegre y Yerbabuenas

- Talca: Constitución, Curepto, Empedrado, Maule, Pelarco, Péncahue, Río Claro, San Clemente, San Rafael y Talca
- Centros de Salud pertenecientes al Servicio de Salud Maule (centro)
- Periodos evaluados (periodo):
 - Junio 2015
 - Diciembre 2015
 - Junio 2016
 - Diciembre 2016
 - Junio 2017
 - Diciembre 2017
 - Junio 2018
- Variables demográficas de afectados con patologías psiquiátricas específicas
 - Edad en grupos etarios o quinquenios (edad)
 - Sexo (sex)
- Frecuencia de incendios de gran magnitud (minc) y eventos de incendio (inc) para la temporada 2016 - 2017
- Tipo de vegetación relacionada con los incendios, ya sea como evento de incendio (vinc), o megaincendio (vminc)
 - Pino
 - Eucalipto
 - Otras plantaciones productivas
 - Arbolada (árboles nativos)
 - Matorral
 - Pastizales
- Extensión de incendios, ya sea como evento de incendio (hecinc), megaincendio (hecminc) o incendios en general (hec)

Mercurio y efectos psiquiátricos tras incendios forestales: Estudio ecológico

- Presencia o ausencia de vegetación acumuladora de mercurio (pino o euclipto) en eventos de incendio (aci), megaincendios (acm) o incendios en general (acum)

Se incluyeron en el análisis estadístico, sólo aquellos centros de salud que se encontraban en un radio de 2 Km con eventos de incendio o megaincendios.

El procesamiento de los datos, se utilizó un programa de Análisis de Geodatos tipo Open Source (QGIS (versión 3.20.0, “Odense”)) y STATA 15.1 (N° serie: 301506299134; licencia perpetua a nombre de Melissa Schulthess).

Para establecer la relación entre el número de casos, se efectuó una regresión lineal simple de los datos recopilados, mediante stepwise.

Las variables clasifican en:

Mercurio y efectos psiquiátricos tras incendios forestales: Estudio ecológico

Tabla 1. Definición operacional de variables estudiadas

Variable (identificación)	Definición operacional	Tipo/escala	Categoría/unidades de medida
Censura	Selección de centros de salud a considerar, según criterio de influencia de acuerdo con ATSDR NOTA: Esta variable no se consideró en STATA, dado que la censura se efectuó con programa SIG	Categorica	1: En zona de influencia
		Dicotómica	0: Fuera de zona de influencia
Patologías (at)	Desenlace; Patologías específicas seleccionadas por ser compatibles con exposición a mercurio en dosis por sobre el límite máximo de riesgo	Categorica	1: Trastornos de ansiedad
		Nominal	2: Alzheimer y otras demencias 3: Trastornos conductuales asociados a demencia 4: Esquizofrenia 5: Primer episodio esquizofrenia con ocupación regular 6: Retraso mental 7: Trastorno de personalidad
Provincia (prov)	Provincia a la que pertenece el centro de salud	Categorica	1: Cauquenes
		Nominal	2: Curicó 3: Linares 4: Talca
Comuna (com)	Comuna a la que pertenece el centro de salud	Categorica	1: Cauquenes
		Nominal	2: Chanco 3: Pelluhue 4: Curicó 5: Hualañé 6: Licantén 7: Molina 8: Rauco 9: Romeral 10: Sagrada Familia 11: Teno 12: Vichuquén 13: Linares 14: Colbún 15: Longaví 16: Parral 17: Retiro 18: San Javier 19: Villa Alegre 20: Yerbass Buenas 21: Talca

Mercurio y efectos psiquiátricos tras incendios forestales: Estudio ecológico

			22: Constitución
			23: Curepto
			24: Empedrado
			25: Maule
			26: Pelarco
			27: Penciahue
			28: Río Claro
			29: San Clemente
			30: San Rafael
Centro de salud (centro)	Centro de salud del SSMaule	Categoría Nominal	1: Centro de Salud Familiar Dr. Ricardo Valdés Hurtado 2: Centro de Salud Familiar Armando Williams 3: Posta de Salud Rural Pilén 4: Posta de Salud Rural Tapihue 5: Posta de Salud Rural Santo Toribio 6: Posta de Salud Rural Cancha de Los Huevos 7: Posta de Salud Rural Coronel 8: Posta de Salud Rural Santa Sofía 9: Posta de Salud Rural Sauzal 10: Centro Comunitario de Salud Familiar Población Fernández 11: Centro Comunitario de Salud Familiar Rosita O'Higgins 12: SAPU Armando Williams 13: Posta de Salud Rural Quilhuine 14: Posta de Salud Rural Lagunillas (Chanco) 15: Posta de Salud Rural Lomas de Putagán 16: Centro de Salud Familiar Cerro Alto 17: Posta de Salud Rural Carrizalillo (Constitución) 18: Posta de Salud Rural Putú 19: Posta de Salud Rural Santa Olga 20: SAPU - Consultorio Cerro Alto 21: Posta de Salud Rural Huaquén (Curepto) 22: Posta de Salud Rural Rapilermo 23: Posta de Salud Rural Gualleco 24: Posta de Salud Rural Estancilla 25: Centro de Salud Familiar Sol de Septiembre 26: Centro de Salud Familiar Colón 27: Centro de Salud Familiar Curicó 28: Centro de Salud Familiar Sarmiento 29: Posta de Salud Rural Chequenlemu 30: Posta de Salud Rural La Obra (Curicó) 31: Centro Comunitario de Salud Familiar Prosperidad 32: Centro Comunitario de Salud Familiar Doña Carmen de Sarmiento

- 33: SAPU - Colón
- 34: SAPU - Consultorio Curicó
- 35: Centro de Salud Familiar Empedrado
- 36: Posta de Salud Rural Pellines (Empedrado)
- 37: Posta de Salud Rural Espinalillo
- 38: Posta de Salud Rural Lora
- 39: Centro de Salud Familiar Valentín Letelier
- 40: Centro de Salud Familiar San Juan Dios de Linares
- 41: Posta de Salud Rural Palmilla (Linares)
- 42: Posta de Salud Rural Vara Gruesa
- 43: Posta de Salud Rural Llancanao
- 44: Consultorio de Salud Mental de Linares
- 45: Centro Comunitario de Salud Familiar Luis Navarrete
- 46: SAPU - San Juan de Dios de Linares
- 47: SAPU - Oscar Bonilla
- 48: Posta de Salud Rural Huimeo
- 49: Posta de Salud Rural San José (Longaví)
- 50: Centro de Salud Familiar Maule
- 51: Posta de Salud Rural Colín
- 52: Posta de Salud Rural Quiñipeumo
- 53: Centro de Salud Familiar Lontué
- 54: Posta de Salud Rural Pichingal
- 55: Posta de Salud Rural Itahue
- 56: Posta de Salud Rural El Yacal
- 57: Posta de Salud Rural Tres Esquinas (Molina)
- 58: Centro de Salud Familiar Arrau Méndez
- 59: Posta de Salud Rural Catillo
- 60: Posta de Salud Rural Perquilauquén
- 61: Posta de Salud Rural Villa Baviera
- 62: Centro Comunitario de Salud Familiar Los Olivos
- 63: SAPU - Arrau Méndez
- 64: Centro de Salud Familiar Pencahue
- 65: Posta de Salud Rural Botalcura
- 66: Posta de Salud Rural Corinto
- 67: Centro Comunitario de Salud Familiar Lo Figueroa
- 68: Posta de Salud Rural Palquibudi
- 69: Posta de Salud Rural Piguchén (Retiro)
- 70: Posta de Salud Rural Camelias
- 71: Posta de Salud Rural Copihue
- 72: Centro de Salud Familiar Cumpeo
- 73: Posta de Salud Rural Porvenir
- 74: Posta de Salud Rural Los Robles (Río Claro)

- 75: Centro de Salud Familiar Romeral
- 76: Posta de Salud Rural El Calabozo
- 77: Posta de Salud Rural Los Queñes
- 78: Centro de Salud Familiar Sagrada Familia
- 79: Posta de Salud Rural Los Quillayes
- 80: Centro de Salud Familiar Dr. Carlos Díaz Gidi
- 81: Posta de Salud Rural Nirivilo
- 82: Posta de Salud Rural Rastrojos
- 83: Posta de Salud Rural Villavicencio
- 84: Posta de Salud Rural Huerta
- 85: Posta de Salud Rural Caliboro
- 86: Centro Comunitario de Salud Familiar San Pablo
- 87: Posta de Salud Rural Alquihue
- 88: Centro de Salud Familiar San Rafael (San Rafael)
- 89: Clínica Dental Móvil (Talca)
- 90: Centro de Salud Familiar José Dionisio Astaburuaga
- 91: Centro de Salud Familiar La Florida
- 92: Centro de Salud Familiar Julio Contardo Urzúa
- 93: Centro de Salud Familiar Carlos Trupp
- 94: Centro de Salud Familiar Las Américas
- 95: Centro de Salud Familiar Faustino González
- 96: Posta de Salud Rural Mercedes
- 97: Centro Comunitario de Salud Familiar Brilla El Sol
- 98: Centro Comunitario de Salud Familiar Faustino González
- 99: Centro Comunitario de Salud Familiar Nuevo Horizonte
- 100: SAPU - José Dionisio Astaburuaga
- 101: SAPU - La Florida
- 102: SAPU - Julio Contardo Urzúa
- 103: SAPU - Carlos Trupp
- 104: SAPU - Las Américas
- 105: Centro de Salud Familiar Villa Magisterio
- 106: Centro de Salud Familiar Vichuquén
- 107: Posta de Salud Rural Llico (Vichuquén)
- 108: Posta de Salud Rural Putagán
- 109: Posta de Salud Rural Peñuelas
- 110: Posta de Salud Rural Esperanza
- 111: Centro Comunitario de Salud Familiar Lomas de Las Tortillas
- 112: Posta de Salud Rural Orillas
- 113: Centro Comunitario de Salud Familiar Villa Francia
- 114: Centro Comunitario de Salud Familiar Chacarillas
- 115: SAR Bombero Garrido
- 116: SAR Aguas Negras

			117: SAPU Valentín Letelier 118: Centro Comunitario de Salud Familiar Yervas Buenas de Linares 119: Centro Comunitario de Salud Familiar Buenos Aires 120: Centro Comunitario de Salud Familiar Pelluhue 121: Posta de Salud Rural Vilches 122: Posta de Salud Rural Potrero Grande 123: Posta de Salud Rural Las Lomas (San Clemente) 124: Posta de Salud Rural La Mina 125: Posta de Salud Rural El Colo 126: Posta de Salud Rural Chequén
<i>Periodo (periodo)</i>	Periodo reportado, que recopila los 6 meses anteriores a la fecha del periodo en base de SSMAule	Categórica Ordinal	1: junio 2015 2: diciembre 2015 3: junio 2016 4: diciembre 2016 5: junio 2017 6: diciembre 2017 7: junio 2018
<i>Grupos etarios (edad)</i>	Edad en quinquenios	Razón Intervalo	1: 0 – 4 años 2: 5 – 9 años 3: 10 – 14 años 4: 15 – 19 años 5: 20 – 24 años 6: 25 – 29 años 7: 30 – 34 años 8: 35 – 39 años 9: 40 – 44 años 10: 45 – 49 años 11: 50 – 54 años 12: 55 – 59 años 13: 60 – 64 años 14: 65 – 69 años 15: 70 – 74 años 16: 75 – 79 años 17: 80+ años
<i>Sexo (sex)</i>	Identificación del sexo para el grupo etario evaluado	Categórica Dicotómica	1: hombre 0: mujer
<i>Frecuencia de incendios de gran magnitud (minc)</i>	Exposición; Número de incendios que cumplen el criterio para considerarse de gran magnitud, según CONAF, para la temporada 2016 – 2017	Discreta De Razón	1, 2, 3, ..., n

Mercurio y efectos psiquiátricos tras incendios forestales: Estudio ecológico

<i>Frecuencia de eventos de incendio (inc)</i>	Exposición; Número de incendios que no cumplen el criterio para considerarse de gran magnitud, según CONAF, para la temporada 2016 – 2017	Discreta De Razón	1, 2, 3, ..., n
<i>Tipo de vegetación en evento de incendio (vinc)</i>	Exposición; Clasificación de CONAF para la vegetación involucrada en un evento de incendio, para la temporada 2016 – 2017	Categórica Nominal	1: Pino 2: Eucalipto 3: Otras plantaciones 4: Arboleda nativa 5: Matorral 6: Pastizal 7: Agrícola 99: No aplica
<i>Tipo de vegetación en megaincendio (vminc)</i>	Exposición; Clasificación de CONAF para la vegetación involucrada en un incendio de gran magnitud, para la temporada 2016 – 2017	Categórica Nominal	1: Pino 2: Eucalipto 3: Otras plantaciones 4: Arboleda nativa 5: Matorral 6: Pastizal 7: Agrícola 99: No aplica
<i>Extensión evento de incendio (hecinc)</i>	Exposición; Superficie afectada en eventos de incendio, para la temporada 2016 – 2017	Continua De razón	Hectáreas
<i>Extensión megaincendio (hecminc)</i>	Exposición; Superficie afectada en incendios de gran magnitud, para la temporada 2016 – 2017	Continua De razón	Hectáreas
<i>Extensión incendios en general (hec)</i>	Exposición; Superficie afectada en incendios, independiente de la magnitud, para la temporada 2016 – 2017	Continua De razón	Hectáreas
<i>Presencia acumuladores en eventos de incendio (aci)</i>	Exposición; Presencia de vegetación que se reconocen como acumuladores, concentradores o secuestradores de mercurio, en zonas afectadas por eventos de incendio, para la temporada 2016 – 2017	Categórica Dicotómica	1: Sí 0: No
<i>Presencia acumuladores en megaincendios (acm)</i>	Exposición; Presencia de vegetación que se reconocen como acumuladores, concentradores o secuestradores de mercurio, en zonas afectadas por incendios de gran magnitud, para	Categórica Dicotómica	1: Sí 0: No

la temporada 2016 – 2017			
<i>Presencia acumuladores en incendios en general (acum)</i>	Exposición; Presencia de vegetación que se reconocen como acumuladores, concentradores o secuestradores de mercurio, en zonas afectadas por incendios independiente de la magnitud, para la temporada 2016 – 2017	Categorica	1: Sí
		Dicotómica	0: No

IMPLICANCIAS ÉTICAS

Todos los seres humanos, por definición, nacen libres y con los mismos derechos, por lo que deben ser tratados con el mismo respeto, fraternidad y dignidad [33]. En este contexto, la base de datos de registros de salud utilizada corresponde a un instrumento público de libre disposición.

Esta base de datos se enmarca en lo establecido en la Ley N° 19.628, en particular, a su artículo 2, letra e) “Dato estadístico, el dato que, en su origen, o como consecuencia de su tratamiento, no puede ser asociado a un titular identificado o identificable”. Lo anterior se refiere a que los datos estadísticos no deben contener información sensible (letra g del artículo 2) que permita identificar a los individuos escrutados o contabilizados.

Estos datos se obtienen de una fuente accesible al público (letra i del artículo 2), y los registros fueron sometidos a un proceso de disociación de datos (letra l del artículo 2), por lo cual, “no requiere autorización el tratamiento de datos personales que provengan o que se recolecten de fuentes accesibles al público”.

En consideración a lo anterior, el uso de la base de datos no requiere de consentimiento informado para efectuar los análisis de datos.

De acuerdo con Naciones Unidas (UNESCO), las bases de datos o biobancos cuentan con consentimientos de amplio uso, donde los pacientes aceptan compartir sus datos no sensibles, para el uso en eventuales investigaciones públicas o

privadas, dentro de un contexto relacionado con el tipo de datos. En caso de que un paciente desee que algún dato recolectado en estos biobancos no sea de uso público, se acepta que ellos emitan un retiro del consentimiento para el o los datos que deseen no compartir, o el uso de consentimientos dinámicos, que pueden restringir la información de un individuo de ser compartida para un uso específico, pero para otros usos, no existe tal restricción. Es por ello por lo que todo dato público disponible en estas bases de datos cuenta ya con un consentimiento informado de uso de la información. [34]

El Comité Internacional de Bioética (IBC) de Naciones Unidas, establece que, en caso de que una investigación científica, particularmente en salud, utilice los datos para investigación que no esté considerado en este consentimiento amplio de uso, se requiere un consentimiento específico para el procesamiento secundario de los datos. [34]

Por otro lado, quienes utilicen estas bases de datos, adquieren el compromiso de no alterar los datos al momento de utilizarlos. [35]

Respecto de la veracidad de los datos, estos fueron obtenidos de una base de datos, a partir de la cual se analizaron, sin modificar ni adecuar estos datos.

Dado que no se requiere consentimiento informado, no se utilizaron muestras biológicas ni animales de experimentación, y los datos utilizados son públicos, contando con su respectivo consentimiento informado de amplio uso, esta tesis no fue evaluada por el Comité de Ética de la Universidad.

RESULTADOS:

ANÁLISIS DE LA EXPOSICIÓN:

De las muestras provenientes de la visita en terreno, estas muestras recolectadas corresponden a muestras de áreas no alcanzadas por los incendios (1 muestra) y áreas afectadas en los incendios de 2016-2017 (2 muestras). De este análisis, se estableció que los suelos sin quemar contenían 7,045 g/Há de mercurio, mientras que el suelo quemado, a casi 4 años de los incendios, presentaba niveles de 1,257 – 1,535 g/Há de mercurio, valores 5,097 (4,589 – 5,606) veces inferiores respecto del nivel presente en suelos no afectados. Esta diferencia en niveles detectados permitió estimar una liberación de mercurio desde suelos quemados de 5,509 – 5,788 g/Há.

ANÁLISIS GEOESPACIAL:

Para obtener la información a evaluar de los casos asociados a incendios forestales, se efectuó un filtro de geodatos, mediante el programa QGIS, considerando como criterio de inclusión, los criterios de influencia de ATSDR, donde se establece que el radio mínimo debe ser de 1 milla, parámetro que puede variar según las condiciones topoclimáticas de la zona a evaluar [36]. Por tanto, dadas las características topoclimáticas, se consideraron aquellos centros de salud que se encuentren a 2Km de radio de algún incendio o megaincendios para las tormentas de fuego del año 2017 (periodo 2016 – 2017), o cuyos radios de influencia (2Km)

Mercurio y efectos psiquiátricos tras incendios forestales: Estudio ecológico

se encuentren intersectados por los radios de influencia de incendio o megaincendios.

La ubicación geográfica de todos los Centros de Salud pertenecientes al SSMaule se representan con rombos celeste, los eventos de incendios, como puntos rojos, y los megaincendios, como áreas verdes (figura 1).

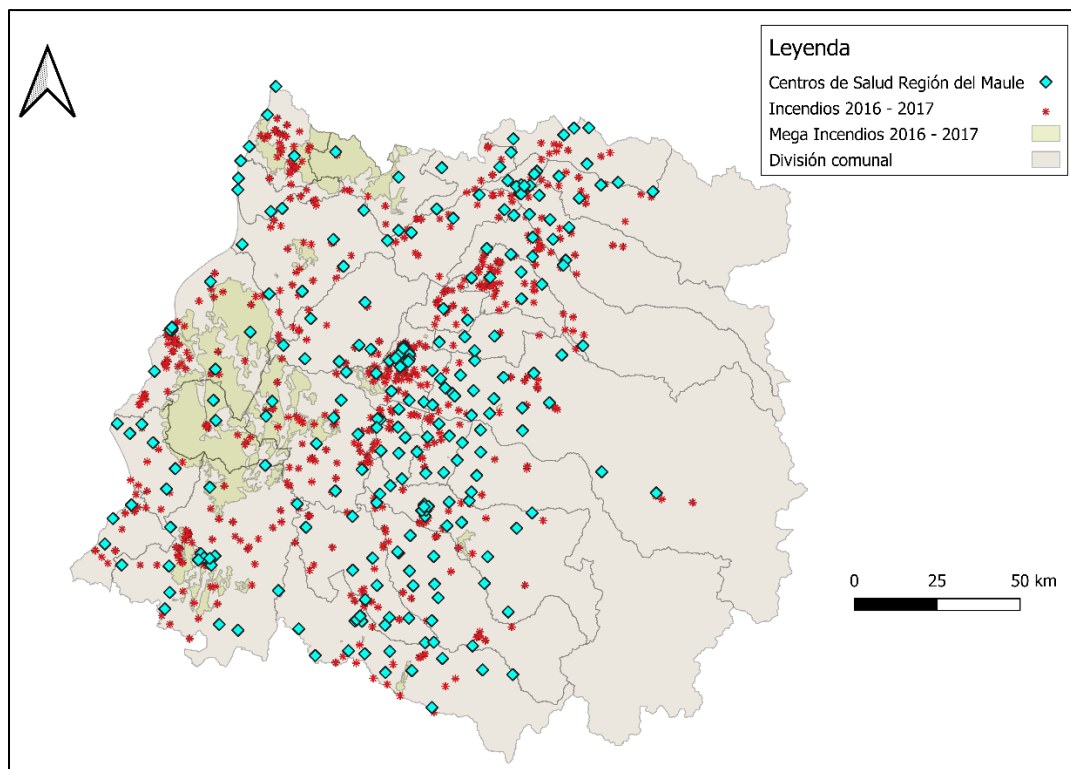


Figura 1. Centros de salud de la Región del Maule, Eventos de Incendio y Megaincendio para la Temporada 2016 – 2017.

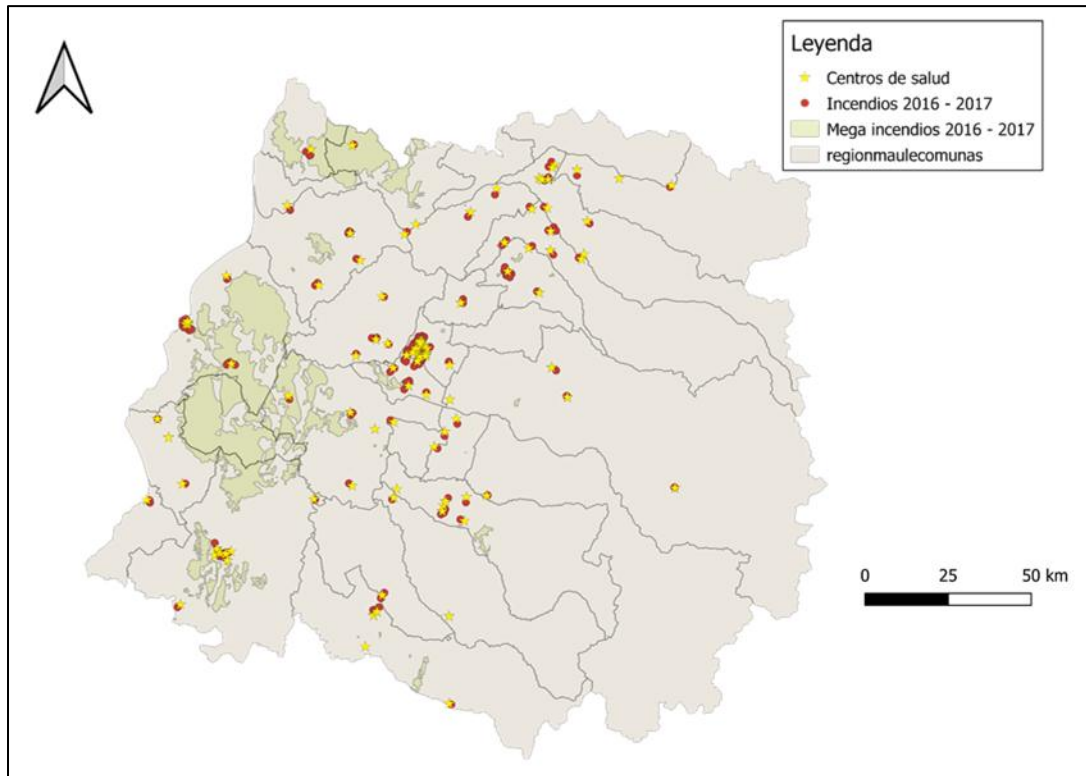


Figura 2. Centros de salud de la Región del Maule relacionados con Eventos de Incendio y Megaincendio para la Temporada 2016 – 2017.

Al efectuar la exclusión de los centros que no se encontraban en el área de influencia de los incendios, se obtuvo que, del total de 255 centros de salud pertenecientes al Servicio de Salud Maule, el universo a estudiar se redujera a 101 centros de salud (figura 2).

ANÁLISIS DE RIESGO:

Se realizó el cálculo de Margen de Riesgo para mercurio en aire [37], del cual se obtuvieron los siguientes márgenes:

Tabla 2. Margen de Riesgo calculado para mercurio en aire

Ubicación	Superficie	Altura de nariz	Margen de riesgo		
			Factor 6,7	Factor 6,7+2	Factor 6,7-2
Región del Maule	Regional	2 m	1,3280	1,7245	0,9316
		1 m	2,6561	3,4489	1,8632
Linares	Provincial	2 m	0,1783	0,2316	0,1251
		1 m	0,3567	0,4632	0,2502
Curicó	Provincial	2 m	1,0069	1,3074	0,7063
		1 m	2,0137	2,6148	1,4126
Talca	Provincial	2 m	0,1645	0,2136	0,1154
		1 m	0,3290	0,4272	0,4272
Cauquenes	Provincial	2 m	0,0967	0,1255	0,1255
		1 m	0,1934	0,2511	0,1357
Linares	Buffer 10%	2 m	15,2273	19,7727	10,6818
		1 m	30,4545	39,5455	21,3636
Curicó	Buffer 10%	2 m	15,2273	19,7727	10,6818
		1 m	30,4545	39,5455	21,3636
Talca	Buffer 10%	2 m	15,2273	19,7727	10,6818
		1 m	30,4545	39,5455	39,5455
Cauquenes	Buffer 10%	2 m	15,2273	19,7727	19,7727
		1 m	30,4545	39,5455	21,3636
Linares	Buffer 5%	2 m	15,2273	19,7727	10,6818
		1 m	30,4545	39,5455	21,3636
Curicó	Buffer 5%	2 m	15,2273	19,7727	10,6818
		1 m	30,4545	39,5455	21,3636
Talca	Buffer 5%	2 m	15,2273	19,7727	10,6818
		1 m	30,4545	39,5455	39,5455
Cauquenes	Buffer 5%	2 m	15,2273	19,7727	19,7727
		1 m	30,4545	39,5455	21,3636
Linares	Buffer 1%	2 m	15,2273	19,7727	10,6818
		1 m	30,4545	39,5455	21,3636
Curicó	Buffer 1%	2 m	15,2273	19,7727	10,6818
		1 m	30,4545	39,5455	21,3636
Talca	Buffer 1%	2 m	15,2273	19,7727	10,6818
		1 m	30,4545	39,5455	39,5455
Cauquenes	Buffer 1%	2 m	15,2273	19,7727	19,7727
		1 m	30,4545	39,5455	21,3636
Linares	Sin buffer	2 m	15,2273	19,7727	10,6818
		1 m	30,4545	39,5455	21,3636
Curicó	Sin buffer	2 m	15,2273	19,7727	10,6818
		1 m	30,4545	39,5455	21,3636
Talca	Sin buffer	2 m	15,2273	19,7727	10,6818
		1 m	30,4545	39,5455	39,5455
Cauquenes	Sin buffer	2 m	15,2273	19,7727	19,7727
		1 m	30,4545	39,5455	21,3636

Mercurio y efectos psiquiátricos tras incendios forestales: Estudio ecológico

Se considera que se está en situación de riesgo para la salud por exposición a mercurio, en todos aquellos resultados cuyo valor supere 1. [37]

De acuerdo con la Tabla 2, se establece que, con una tasa de liberación de mercurio teórica de $6,7 \pm 2$ g Hg/Há [2], la Región del Maule se encuentra, en general, en riesgo para la salud asociada a la exposición a mercurio en eventos de incendio.

De los eventos de incendios y megaincendios, se evaluó el tipo de vegetación involucrada para la temporada 2016 – 2017, obteniéndose los siguientes gráficos:

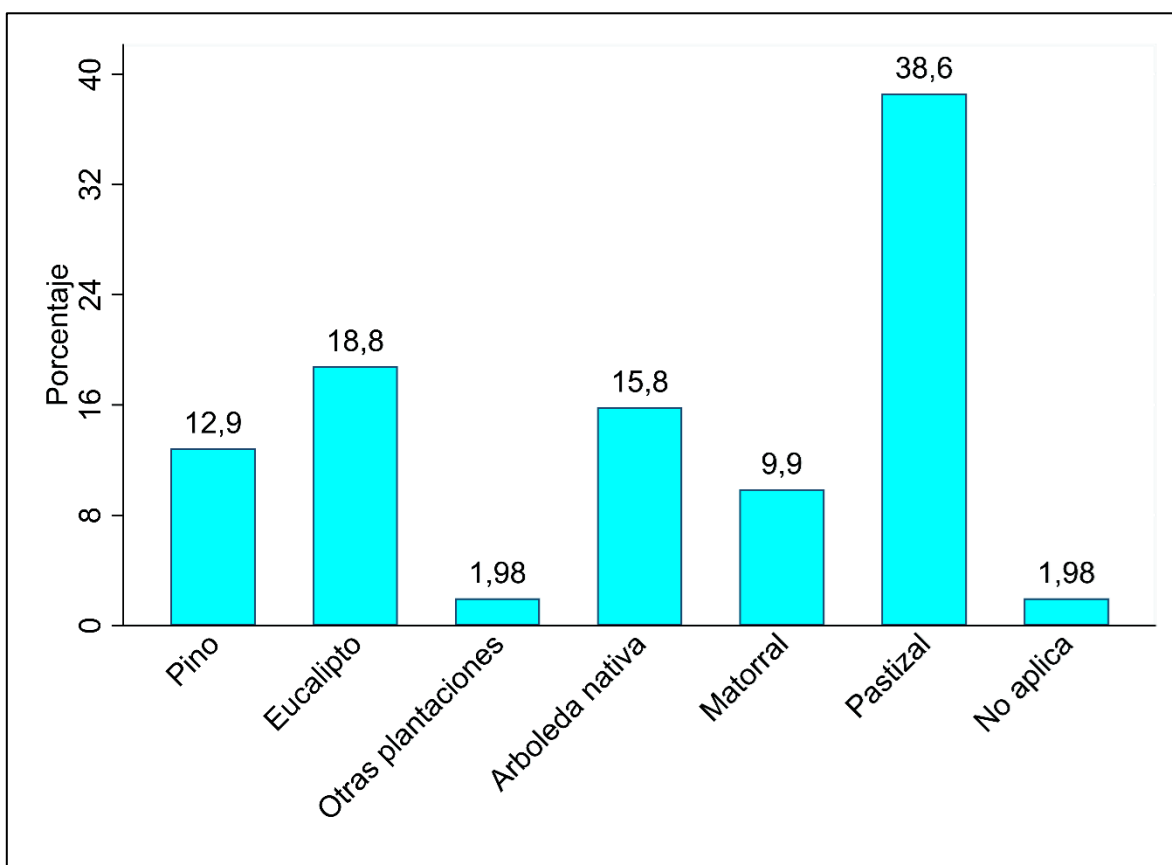


Figura 3. Distribución de incendios temporada 2016 – 2017

Mercurio y efectos psiquiátricos tras incendios forestales: Estudio ecológico

Destaca que la principal vegetación involucrada corresponde a pastizales, seguido de eucalipto, arboleda nativa y pino.

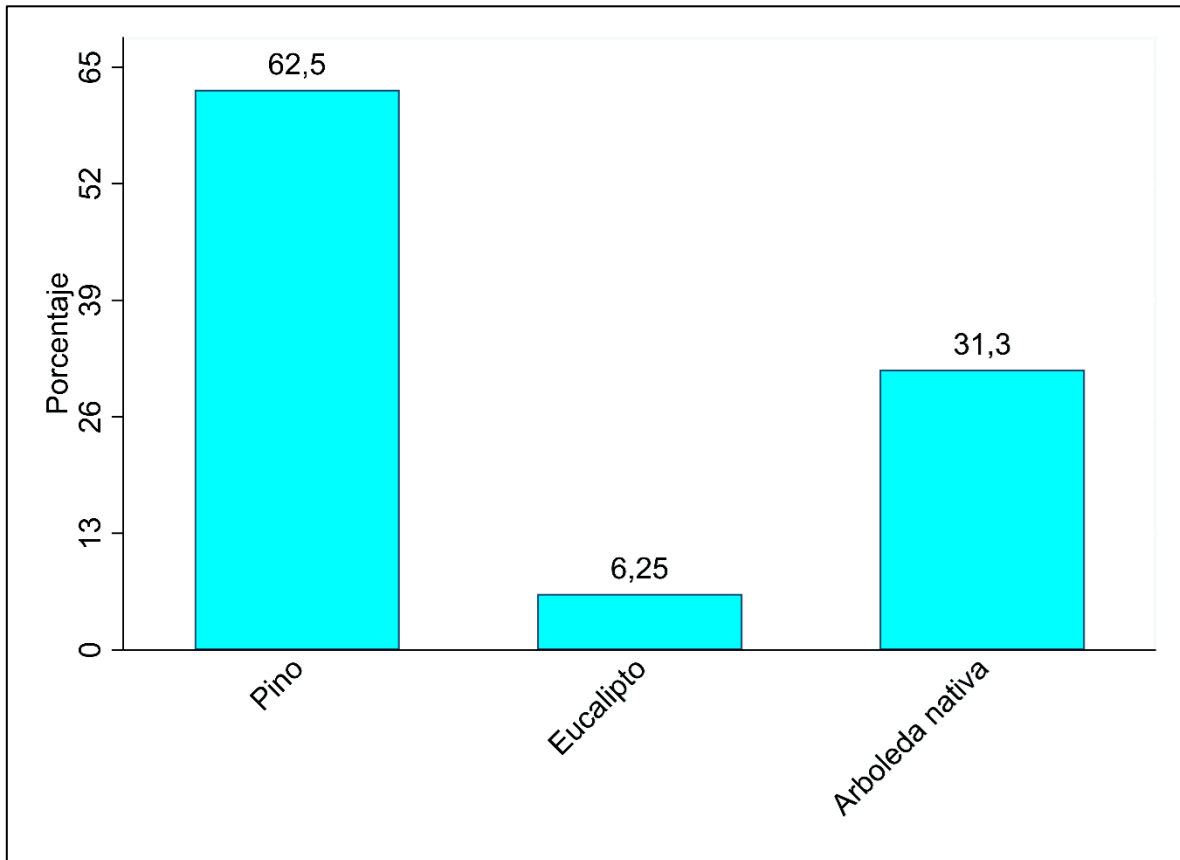


Figura 4. Distribución de megaincendios temporada 2016 – 2017

Destaca que la principal vegetación afectada en megaincendios son pinos, seguidos de arboleda nativa.

Al agrupar por tipo de vegetación, con criterio de agrupación si es o no acumulador de mercurio, se obtienen los siguientes gráficos:

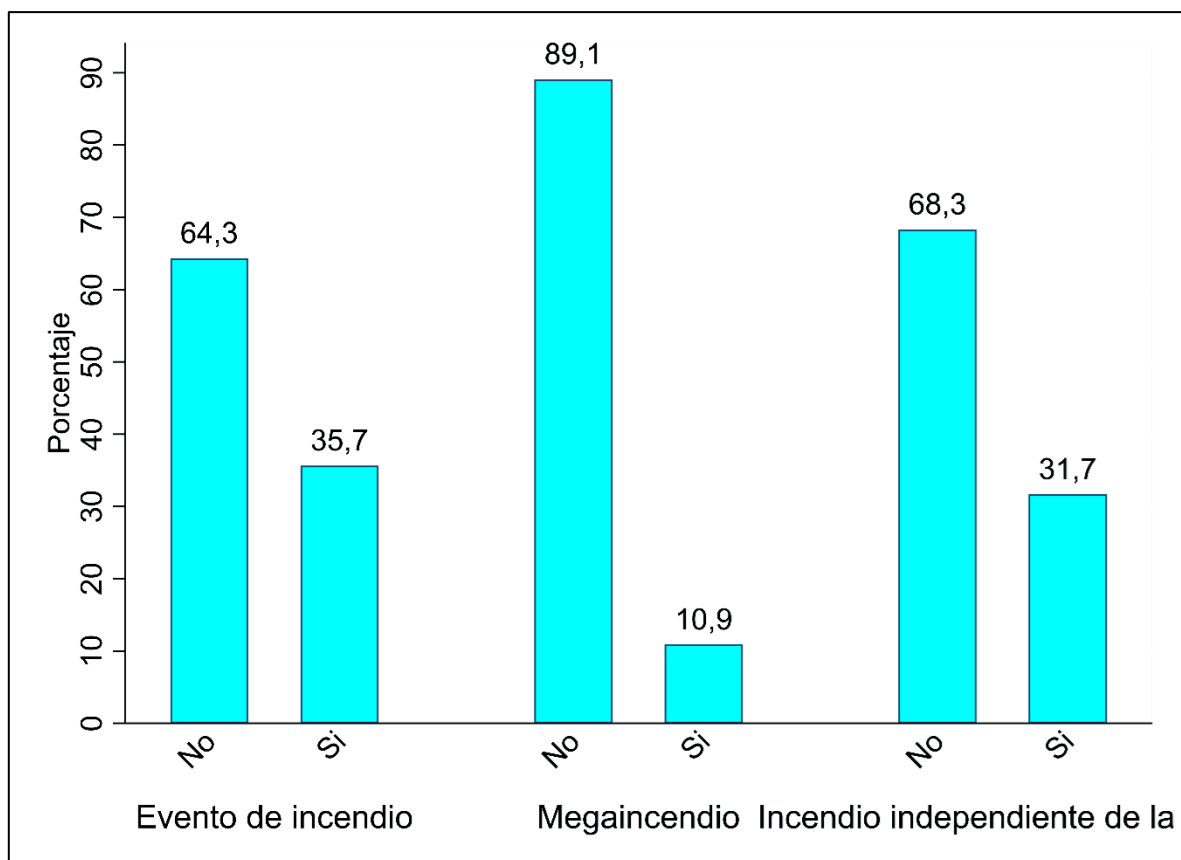


Figura 5. Presencia de vegetación acumuladora de mercurio en incendios en general, eventos de incendio, y megaincendios para la temporada 2016 – 2017

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA:

La población evaluada corresponde a una muestra proveniente de aquellos individuos que se encontraban reportados en la base de datos para atenciones de salud mental, registradas en los Registros Epidemiológicos Mensuales del SSMAule, de los centros de salud que se encuentran en las áreas de influencia de los incendios, independiente de su magnitud.

Esta muestra se analizó estadísticamente. Se procedió a evaluar la distribución de casos (personas en Atención de Salud Mental en Centros de Salud) para la ventana de tiempo estudiada que corresponde a 7 periodos. Estos periodos consisten en 2 periodos antes de los eventos de incendios de la temporada 2016 – 2017, correspondientes a junio 2015 y diciembre 2015; al periodo concurrente con los incendios, junio 2016 y diciembre 2016; a 1 periodo posterior a los incendios, junio 2017; y a dos periodos posteriores adicionales, diciembre 2017 y junio 2018. Esto permite evaluar los potenciales efectos de estos eventos y la exposición potencial a mercurio, contrastando una misma zona geográfica para 1 año previo a los eventos, en la evaluación inmediata posterior a los incendios, durante un periodo de 1 año posterior para observación de efectos crónicos, y 1 año adicional para observación de efectos a largo plazo.

Las causas corresponden a: A)Trastornos de ansiedad; B)Alzheimer y otras demencias; C)Trastornos conductuales asociados a demencia; D)Esquizofrenia; E)Primer episodio esquizofrenia con ocupación regular; F)Retraso mental; G)Trastorno de personalidad

Mercurio y efectos psiquiátricos tras incendios forestales: Estudio ecológico

Al respecto, se observó que, para la Región del Maule, el total de casos y su distribución por causa es la siguiente para cada periodo:

Tabla 3. Resumen de casos por causa

Periodo	Causas							Total
	A	B	C	D	E	F	G	
Jun-2015	6.097	291	62	81	4	155	752	7.442
Dic-2015	8.117	196	60	114	3	208	926	9.624
Jun-2016	9.334	214	53	149	2	189	787	10.728
Dic-2016	8.727	242	45	85	1	199	772	10.071
Jun-2017	8.887	265	8	44	0	196	702	10.102
Dic-2017	9.576	322	0	66	0	239	833	11.036
Jun-2018	9.186	258	0	69	6	268	605	10.392

Nota 1: Los colores representan las distintas fases: Celeste = Pre incendios; Naranja = Inmediatamente previo; Rojo = Incendios; Amarillo = Post incendios; Verde = Recuperación o Estabilización

Considerando que, de acuerdo con el CENSO 2017, la población cuya residencia habitual es en la Región del Maule es de 1.034.099, se estableció la tasa por cada 100.000 habitantes de estas patologías:

Tabla 4. Resumen de tasa cada 100.000 habitantes por causa

Periodo	Causas							Total
	A	B	C	D	E	F	G	
Jun-2015	589,60	28,14	6,00	7,83	0,39	14,99	72,72	719,66
Dic-2015	784,93	18,95	5,80	11,02	0,29	20,11	89,55	930,57
Jun-2016	902,62	20,69	5,13	14,41	0,19	18,28	76,10	1.037,43
Dic-2016	843,92	23,40	4,35	8,22	0,10	19,24	74,65	973,89
Jun-2017	859,40	25,63	0,77	4,25	0	18,95	67,89	976,89
Dic-2017	926,02	31,14	0	6,38	0	23,11	80,55	1.067,21
Jun-2018	888,31	24,95	0	6,67	0,58	25,92	58,51	1.004,93

Mercurio y efectos psiquiátricos tras incendios forestales: Estudio ecológico

Nota 1: Los colores representan las distintas fases: Celeste = Pre incendios; Naranja = Inmediatamente previo; Rojo = Incendios; Amarillo = Post incendios; Verde = Recuperación o Estabilización

Destaca que la tendencia previo a los incendios es de un incremento progresivo en la tasa total y en el total de casos, donde se observa que este valor cae en el periodo de los incendios, recuperándose rápidamente en los siguientes 18 meses.

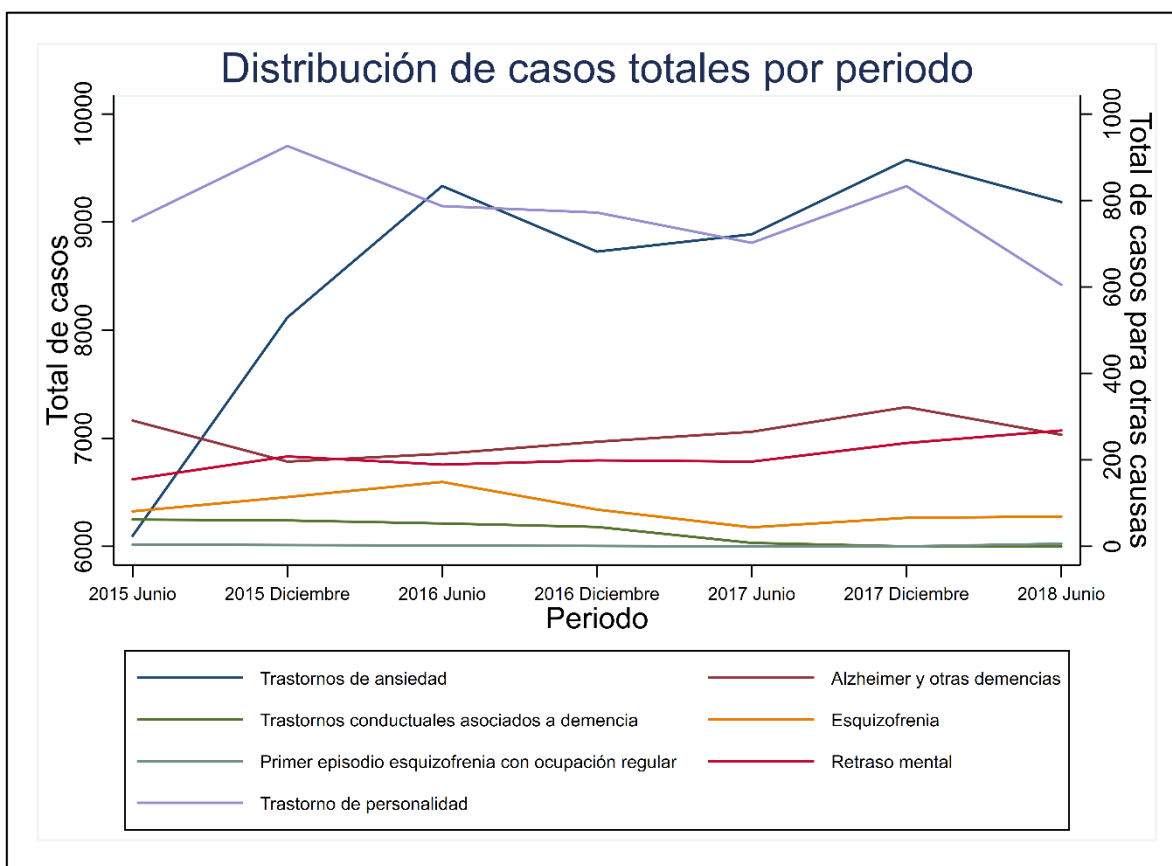


Figura 6. Gráfico de distribución de casos totales por causa y periodo

Los casos observados corresponden principalmente a trastornos de ansiedad (eje izquierdo), seguido por trastornos de personalidad (eje derecho), Alzheimer y otras demencias (eje derecho), y retraso mental (eje derecho). En general, se observa que

Mercurio y efectos psiquiátricos tras incendios forestales: Estudio ecológico

los casos en junio son inferiores a los de diciembre, para el periodo previo a la temporada de incendios (jun 2015 a jun 2016), a excepción de los trastornos de ansiedad, manteniendo valores similares de casos para junio 2015 y junio 2016 de otras causas. Destaca que en diciembre los casos de trastorno de personalidad incrementan respecto de junio, situación que no se observa en el periodo durante la temporada de incendios, manteniéndose el total de casos por esta patología estable en contraste con el periodo previo (dic 2015 vs dic 2016), y esto no se normaliza sino hasta diciembre 2017, donde se observa un incremento en los casos de trastorno de personalidad.

En el caso de los trastornos de ansiedad, estos se presentaron en aumento desde junio 2015 a junio 2016, no obstante, en diciembre 2016, presentan una disminución en la frecuencia de casos, que se mantiene hasta junio 2017, ocurriendo esta disminución durante la temporada de incendios asociada a la tormenta de fuego.

Los casos de esquizofrenia disminuyen notoriamente en junio 2017, a menos de 1/3 del total de casos observados en junio 2016. En cambio, para los casos de Alzheimer y otras demencias presentan un comportamiento de incremento en junio y disminución en diciembre, observado en el periodo previo a los incendios 2016-2017, no obstante, este comportamiento de la frecuencia de casos varía para el periodo dic 2016 – dic 2017, donde se observa un incremento consecutivo en los casos. Es importante destacar que estos casos no sólo corresponden a Alzheimer, sino que involucra otras demencias.

Mercurio y efectos psiquiátricos tras incendios forestales: Estudio ecológico

Los trastornos conductuales disminuyen a partir de los incendios, mientras que los primeros episodios de esquizofrenia incrementan al año después del término de la temporada de incendios 2016-2017.

Al analizar el total de casos por sexo para cada periodo, se observa que gran parte de los casos corresponde a mujeres, y se evidencia que, en ambos grupos, existe un incremento en el periodo inmediato a los eventos de incendios, y que existe un nuevo incremento a 1 año de los eventos.

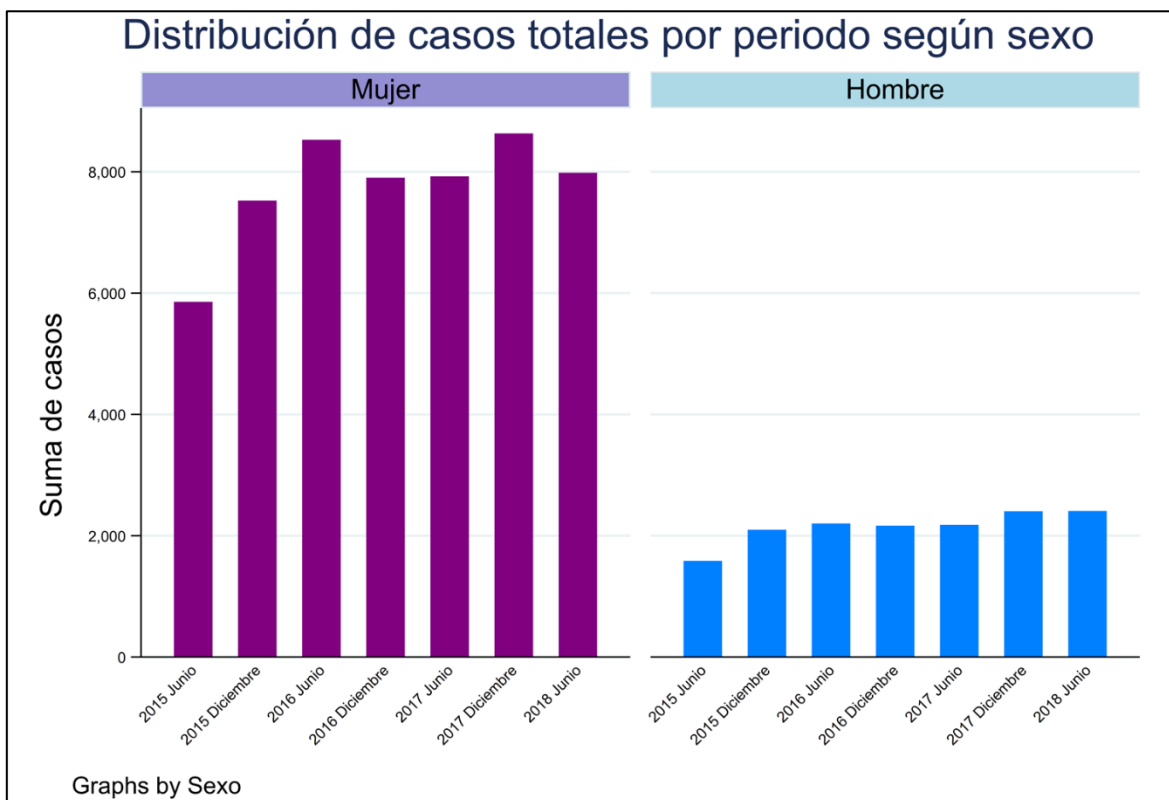


Figura 7. Distribución de casos totales por periodo según sexo

Se destaca que el grupo más afectado corresponde a mujeres, las cuales presentan un incremento en los casos hasta antes de los eventos de incendios, luego estos disminuyen y se detienen, incrementando a 1 año de los eventos. En el caso de los

Mercurio y efectos psiquiátricos tras incendios forestales: Estudio ecológico

hombres, estos presentan un comportamiento semejante, no obstante, el impacto en los casos durante los incendios es menor, y se observa sólo un incremento en los casos a 1 año de los incendios.

Se analizó la distribución etaria por periodo, obteniéndose el siguiente gráfico:

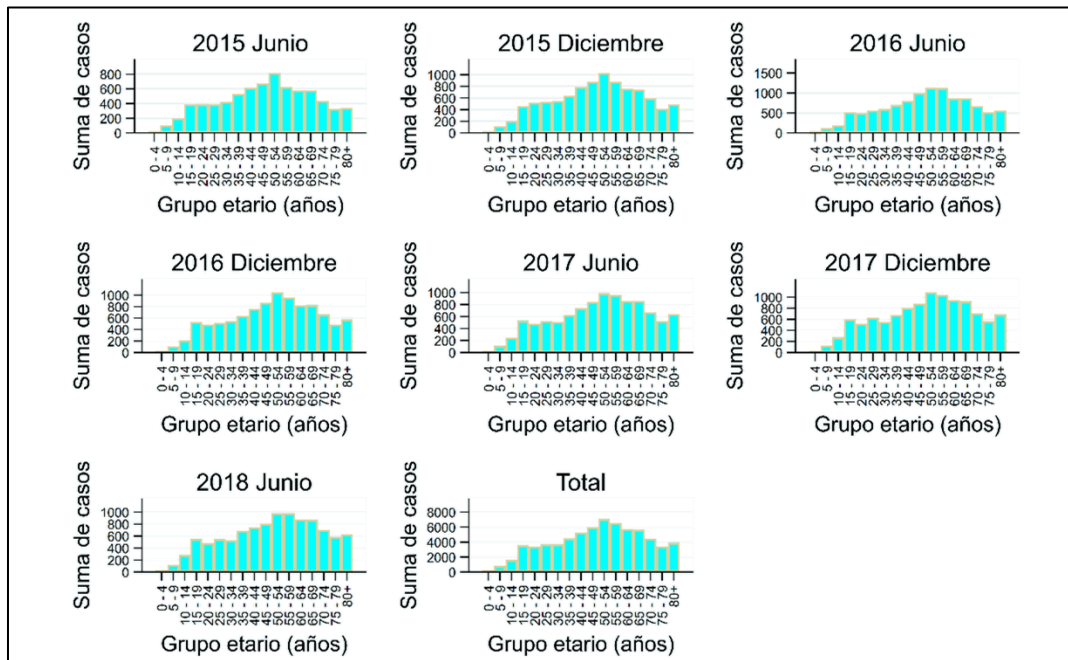


Figura 8. Distribución de casos en los grupos etarios, por periodo evaluado

Antes de los incendios, el grupo etario donde se concentran la mayoría de los casos corresponde a los individuos de 50 – 54 años, independiente de si es previo, durante, o posterior a los incendios de la temporada 2016 – 2017.

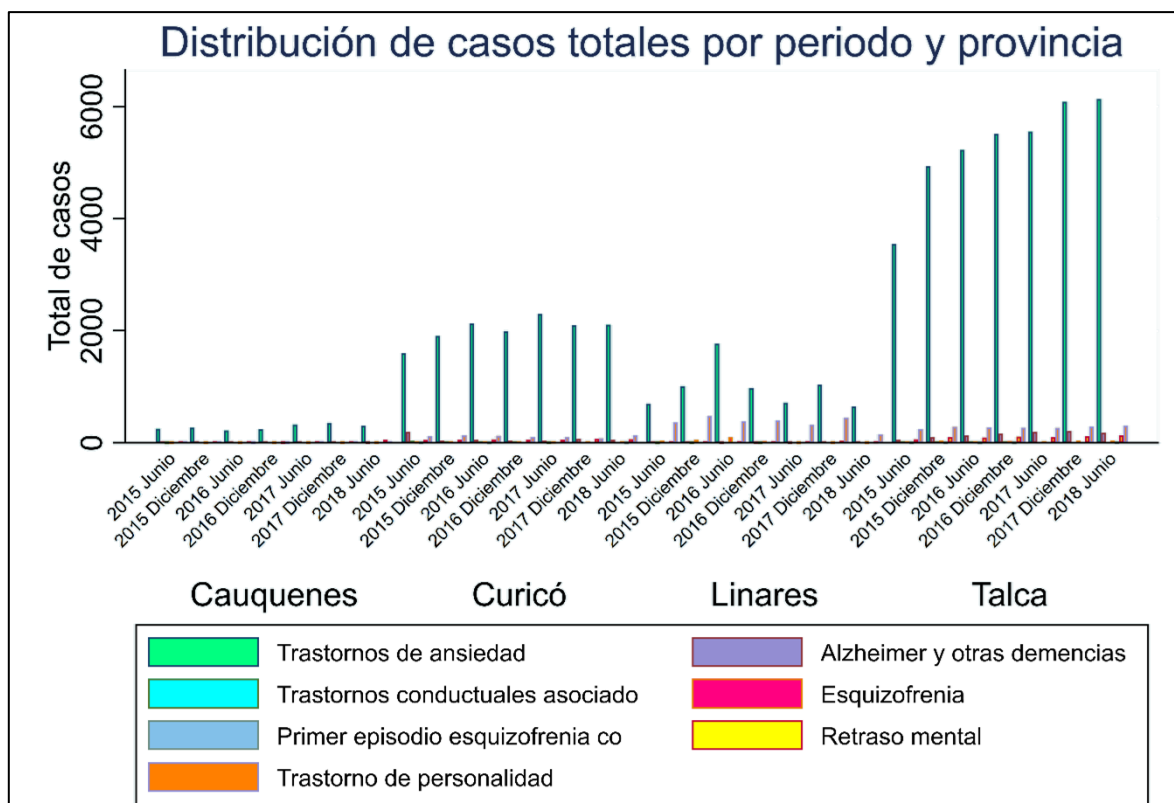


Figura 9. Distribución de casos totales por periodo y provincia

Al analizar los casos por provincia, se observa que Cauquenes, Curicó y Linares presentan una disminución en los casos para los periodos asociados a las tormentas de fuego (dic 2016 – jun 2017), no obstante, Talca presenta una detención en el total de casos, con incremento a 6 meses de los eventos de incendios, y mantención de estos casos a 1 año de los incendios.

Dado que los casos de trastornos de ansiedad corresponden a la gran mayoría de los casos, se procedió a evaluar los casos totales omitiendo esta causa para observar el comportamiento temporal de las otras causas de consulta

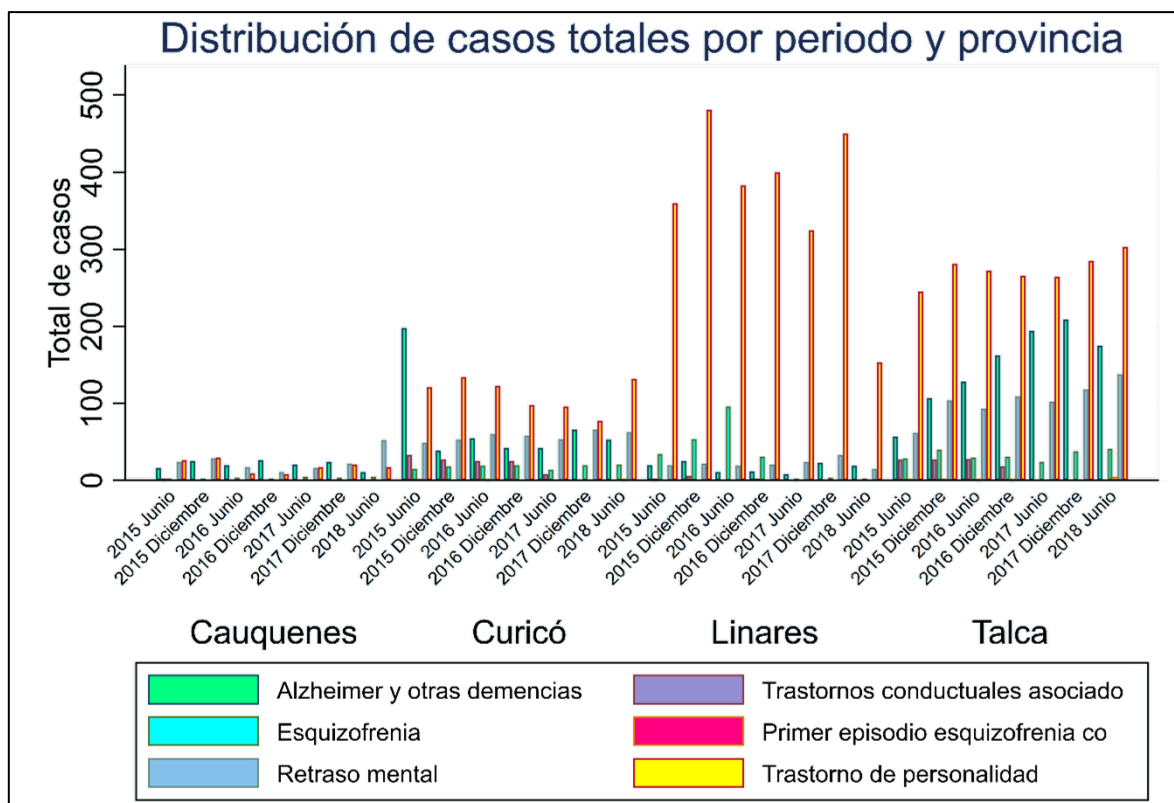


Figura 10. Distribución de casos totales por periodo y provincia, omitiendo trastornos de ansiedad

Al analizar los casos por provincia sin considerar los trastornos de ansiedad, se observa en general que se produce una disminución en los casos en junio, con incrementos en diciembre de cada año evaluado, pero el incremento entre junio 2016 y diciembre 2017 fue en menor grado, observable sólo para Cauquenes y Linares, mientras que Curicó y Talca presentaron una disminución en los casos para esta causa. Se observa que los trastornos de personalidad son predominantes en Linares, Talca y Curicó, mientras que la segunda causa más común corresponde a Alzheimer y otras demencia, para Curicó y Talca.

Mercurio y efectos psiquiátricos tras incendios forestales: Estudio ecológico

En Talca destaca que los trastornos de personalidad presentan una disminución en lo caso para los periodos inmediatos a las tormentas de fuego, y que se produce el incremento de estos a partir de 1 año posterior a estos eventos. En el caso de Linares, se produce una disminución en junio de cada año, comparado con diciembre del mismo año, no obstante, la diferencia de casos entre junio 2016 y diciembre 2016 es menor comparada con la del mismo periodo del año anterior. También se observa que, en junio 2017, los casos disminuyen más de lo observado previamente, incrementando en diciembre hasta valores similares a los de diciembre 2015, pero, luego en junio 2018, se produce una fuerte caída en los casos de trastorno de personalidad.

Por otro lado, en Talca, Alzheimer y otras demencias presenta un incremento sostenido en el tiempo, disminuyendo los casos sólo en junio 2018.

Respecto de la esquizofrenia, destaca que, en Curicó, a un año de los eventos de incendios, se produce un fuerte aumento de casos, respecto de la tendencia observada previamente de disminución de casos por esta causa.

Se analizó la distribución de casos por causa según edad. Dado que los grupos etarios son 17, se dividieron en 3 grupos para facilitar la visualización, obteniéndose los siguientes gráficos:

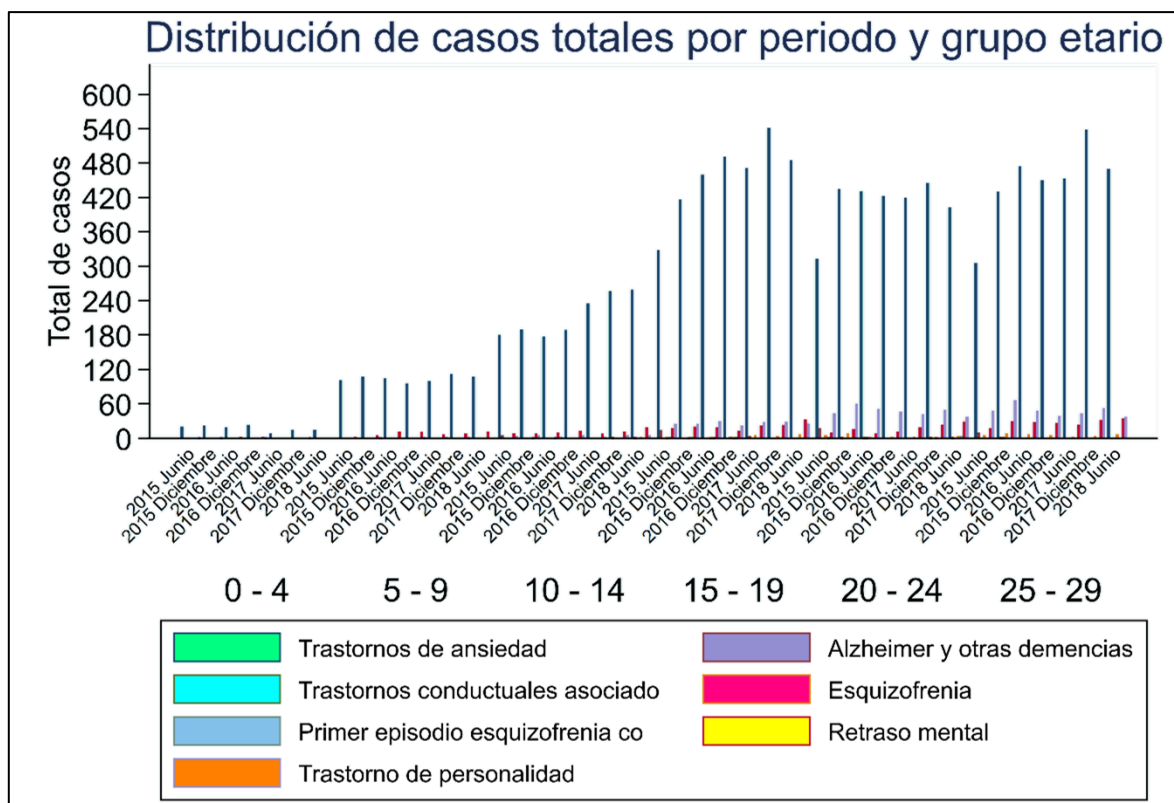


Figura 11. Distribución de casos totales por periodo y grupo etario 0 a 29 años

Se observa que, en junio 2017, se produce una disminución de los casos, en particular de los trastornos de ansiedad, y estos luego aumentan notoriamente en diciembre 2017, para disminuir finalmente en junio 2018.

La mayor concentración de casos se produce entre los 15 y 29 años para este primer grupo analizado, destacando lo grupo de 15 – 19 y 25 – 29 años.

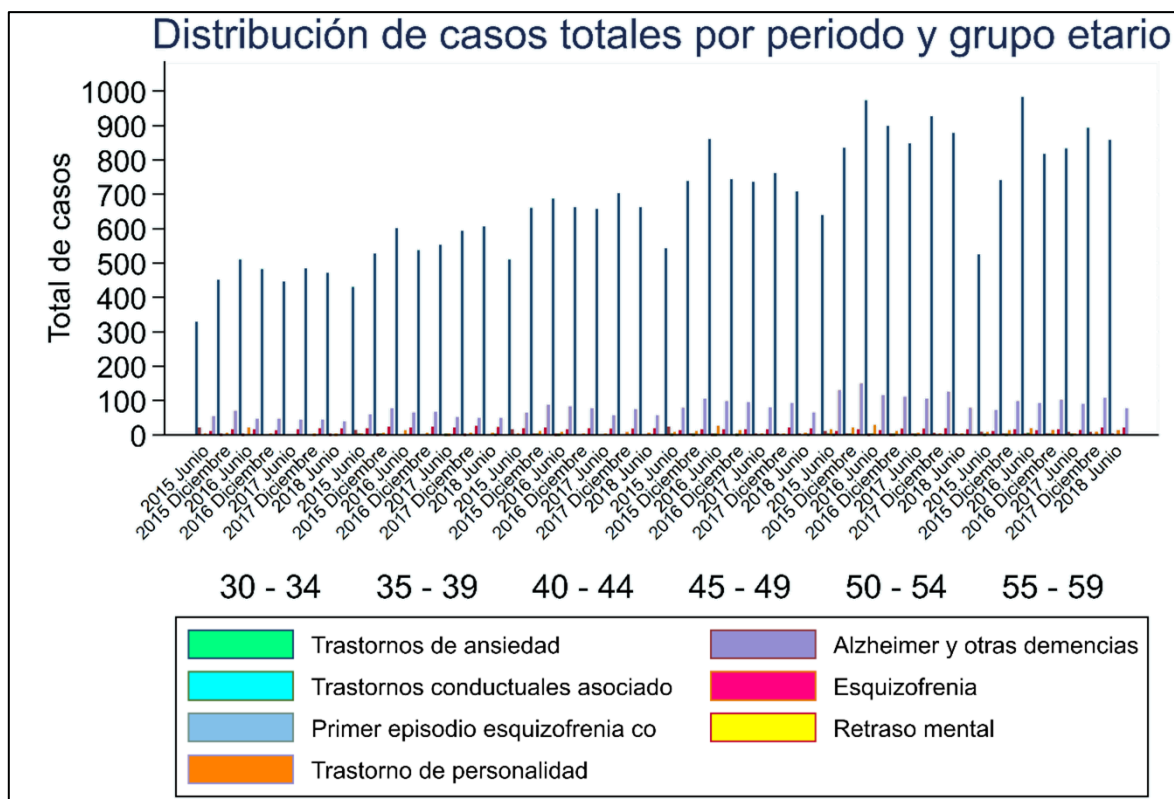


Figura 12. Distribución de casos totales por periodo y grupo etario 30 a 59 años

Se observa que, en diciembre 2016, se produce una disminución de los casos de trastornos de ansiedad, incrementando en junio 2017, y disminuyendo progresivamente desde diciembre 2017 hasta junio 2018.

La mayor concentración de casos se produce entre los 50 y 59 años para el segundo grupo analizado.

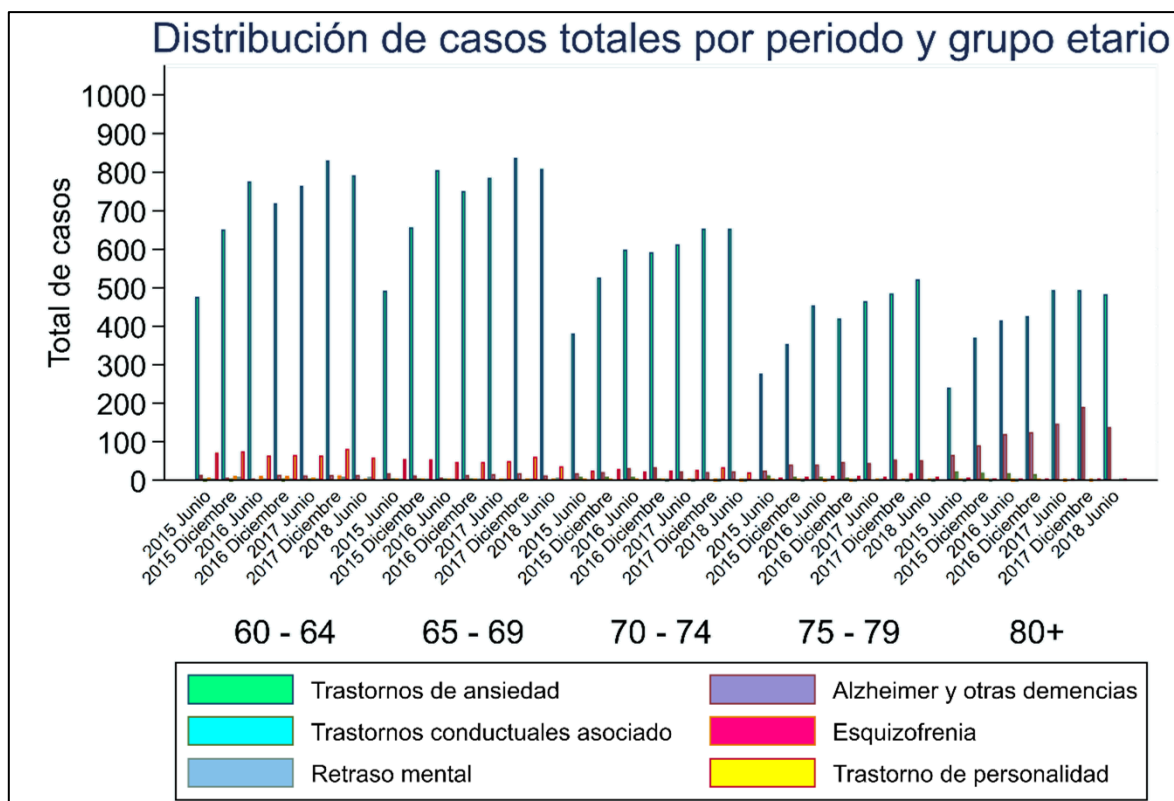


Figura 13. Distribución de casos totales por periodo y grupo etario 60+ años

Se observa que, en diciembre 2016, se produce una disminución de los casos de trastornos de ansiedad, incrementando en junio 2017, y disminuyendo progresivamente desde diciembre 2017 hasta junio 2018. Esto sólo es observable hasta el grupo de 70 – 74 años, y en el grupo etario de más de 80 años. En el caso de los individuos de 75 a 79 años, estos presentan un incremento sostenido en los casos de trastornos de ansiedad.

La mayor concentración de casos se produce entre los 60 y 69 años para el tercer grupo analizado.

Dado que los trastornos de ansiedad corresponden a la principal causa de consulta, se efectuó el mismo análisis por grupo etario, omitiendo esta causa de consulta.

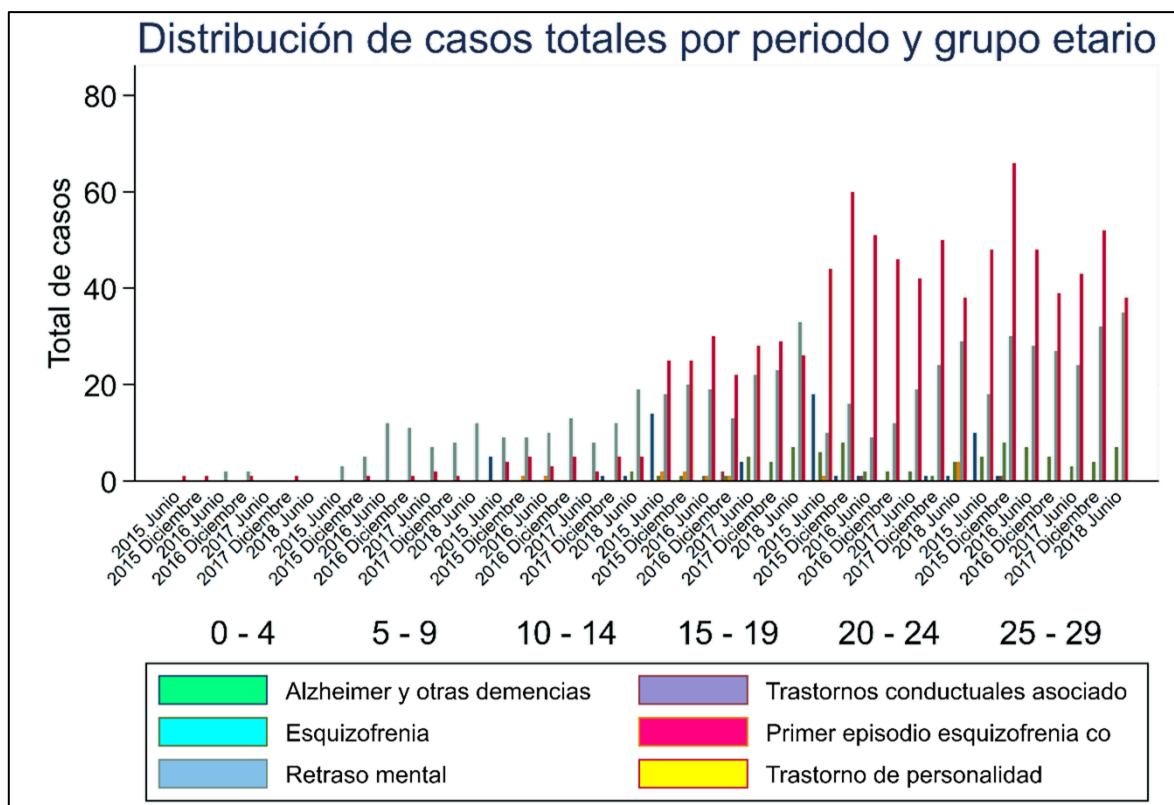


Figura 14. Distribución de casos totales por periodo y grupo etario 0 a 29 años

Se observa que, entre junio 2015 y diciembre 2015, se produce un incremento en los casos, y luego estos disminuyen en junio 2016, no obstante, a partir de diciembre 2016, se mantiene un comportamiento de disminución de casos, hasta junio 2018, donde los casos incrementan.

Lo anterior es evidente para la causa primer episodio de esquizofrenia.

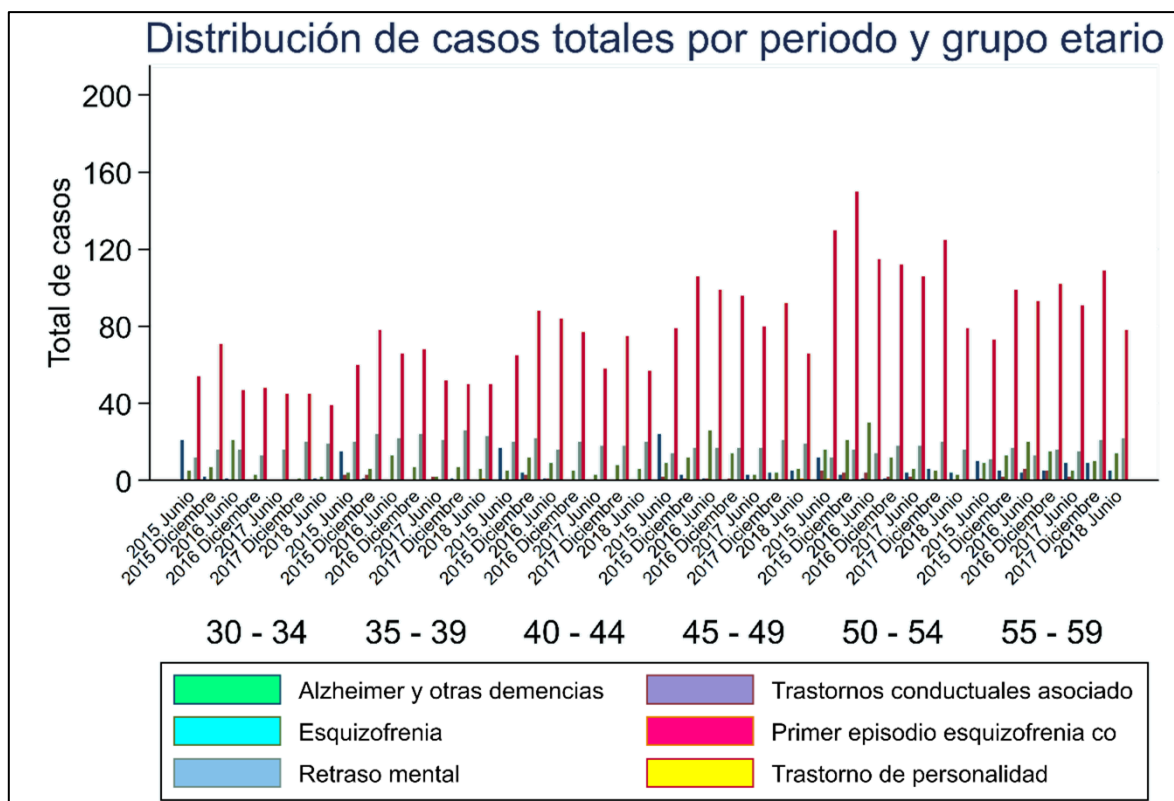


Figura 15. Distribución de casos totales por periodo y grupo etario 30 a 59 años

Se observa que, entre junio 2015 y diciembre 2015, se produce un incremento en los casos, y luego estos disminuyen en junio 2016, no obstante, a partir de diciembre 2016, se mantiene un comportamiento de disminución de casos, hasta junio 2018, donde los casos incrementan. Lo anterior es evidente para la causa primer episodio de esquizofrenia.

Sin embargo, esto no se observa en el grupo etario de 30 a 34 años.

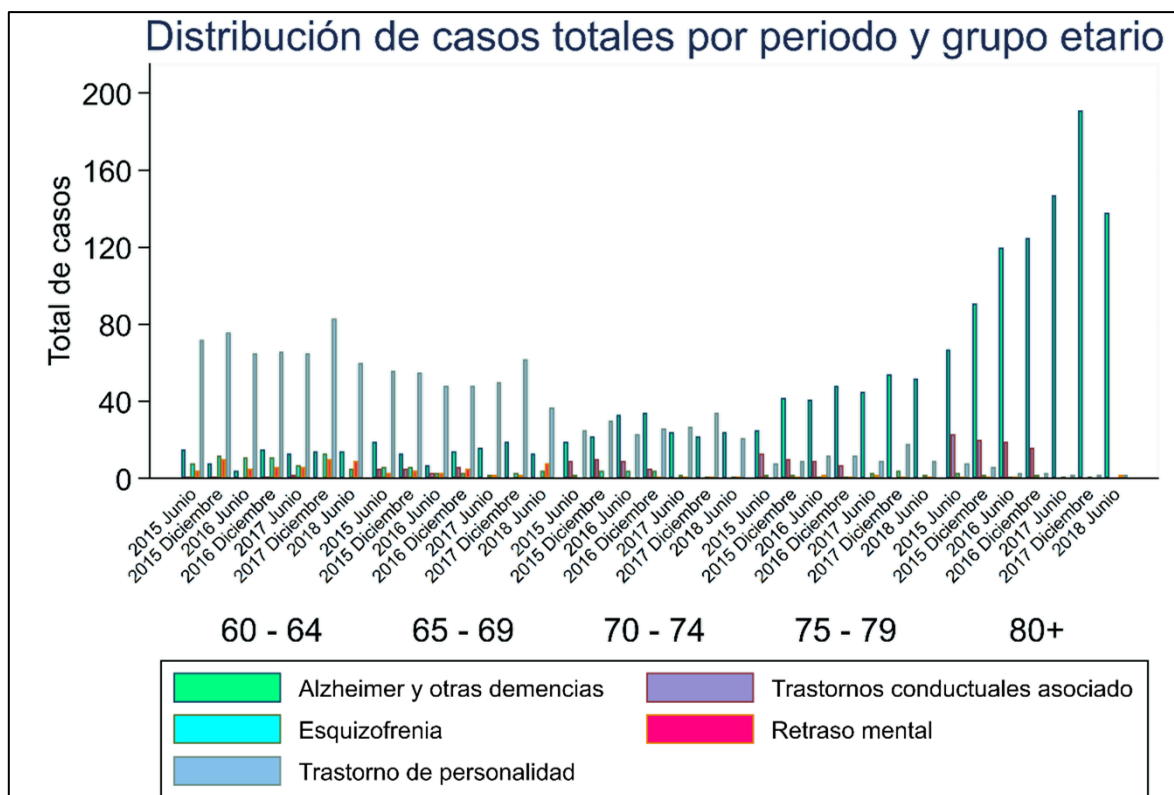


Figura 16. Distribución de casos totales por periodo y grupo etario 60+ años

Se observa que, entre junio 2015 y diciembre 2015, se produce un incremento en los casos, y luego estos disminuyen en junio 2016, no obstante, a partir de diciembre 2016, se mantiene un comportamiento de disminución de casos, hasta junio 2018, donde los casos incrementan. Lo anterior es evidente para la causa Trastornos conductuales asociados a demencia, y, a partir de los 75 años, para Alzheimer y otras demencias.

Mercurio y efectos psiquiátricos tras incendios forestales: Estudio ecológico

Tabla 5. Frecuencia de casos por grupo etario y periodo

Grupo etario	Enfermedad de consulta	Periodo						
		Jun 2015	Dic 2015	Jun 2016	Dic 2016	Jun 2017	Dic 2017	Jun 2018
0 – 4 años	Trastornos de ansiedad	20	22	18	23	9	15	15
	Alzheimer y otras demencias	0	0	0	0	0	0	0
	Trastornos conductuales asociados a demencia	0	0	0	0	0	0	0
	Esquizofrenia	0	0	0	0	0	0	0
	Primer episodio esquizofrenia con ocupación regular	0	0	0	0	0	0	0
	Retraso mental	0	0	0	2	0	0	0
	Trastorno de personalidad	1	1	2	1	0	1	0
5 – 9 años	Trastornos de ansiedad	101	108	105	96	100	112	108
	Alzheimer y otras demencias	0	0	0	0	0	0	0
	Trastornos conductuales asociados a demencia	0	0	0	0	0	0	0
	Esquizofrenia	0	0	0	0	0	0	0
	Primer episodio esquizofrenia con ocupación regular	0	0	0	0	0	0	0
	Retraso mental	3	5	12	11	7	8	12
	Trastorno de personalidad		1		1	2	1	
10 – 14 años	Trastornos de ansiedad	180	190	177	189	235	257	259
	Alzheimer y otras demencias	5	0	0	0	0	1	1
	Trastornos conductuales asociados a demencia	0	0	0	0	0	0	0
	Esquizofrenia	0	0	0	0	0	0	2
	Primer episodio esquizofrenia con ocupación regular	0	1	1	0	0	0	0
	Retraso mental	9	9	10	13	8	12	19
	Trastorno de personalidad	4	5	3	5	2	5	5
15 – 19 años	Trastornos de ansiedad	328	417	460	491	472	542	485
	Alzheimer y otras demencias	14	0	0	0	4	0	0
	Trastornos conductuales asociados a demencia	0	0	0	2	0	0	0
	Esquizofrenia	1	1	1	1	5	4	7
	Primer episodio esquizofrenia con ocupación regular	2	2	1	1	0	0	0
	Retraso mental	18	20	19	13	22	23	33
	Trastorno de personalidad	25	25	30	22	28	29	26
20 – 24 años	Trastornos de ansiedad	313	435	431	423	420	445	403
	Alzheimer y otras demencias	18	1	1	0	0	1	1
	Trastornos conductuales asociados a demencia	0	0	1	0	0	0	0
	Esquizofrenia	6	8	2	2	2	1	4
	Primer episodio esquizofrenia con ocupación regular	1	0	0	0	0	0	4
	Retraso mental	10	16	9	12	19	24	29
	Trastorno de personalidad	44	60	51	46	42	50	50

Mercurio y efectos psiquiátricos tras incendios forestales: Estudio ecológico

25 – 29 años	Trastornos de ansiedad	306	430	475	450	453	538	470
	Alzheimer y otras demencias	10	1	0	0	0	0	0
	Trastornos conductuales asociados a demencia	0	1	0	0	0	0	0
	Esquizofrenia	5	8	7	5	3	4	7
	Primer episodio esquizofrenia con ocupación regular	0	0	0	0	0	0	0
	Retraso mental	18	30	28	27	24	32	35
	Trastorno de personalidad	48	66	48	39	43	52	38
30 – 34 años	Trastornos de ansiedad	329	451	511	483	446	485	471
	Alzheimer y otras demencias	21	2	1	0	0	0	1
	Trastornos conductuales asociados a demencia	0	0	0	0	0	0	0
	Esquizofrenia	5	7	21	3	0	1	2
	Primer episodio esquizofrenia con ocupación regular	0	0	0	0	0	0	0
	Retraso mental	12	16	16	13	16	20	19
	Trastorno de personalidad	54	71	47	48	45	45	39
35 – 39 años	Trastornos de ansiedad	430	528	301	537	553	594	607
	Alzheimer y otras demencias	15	1	0	0	0	1	0
	Trastornos conductuales asociados a demencia	3	3	0	0	2	0	0
	Esquizofrenia	4	6	13	7	2	7	6
	Primer episodio esquizofrenia con ocupación regular	0	0	0	0	0	0	1
	Retraso mental	20	24	22	24	21	26	23
	Trastorno de personalidad	60	78	66	68	52	50	50
40 – 44 años	Trastornos de ansiedad	511	661	687	662	658	703	663
	Alzheimer y otras demencias	17	4	1	0	0	0	0
	Trastornos conductuales asociados a demencia	0	3	1	0	0	0	0
	Esquizofrenia	5	12	9	5	3	8	6
	Primer episodio esquizofrenia con ocupación regular	0	0	0	0	0	0	0
	Retraso mental	20	22	16	20	18	18	20
	Trastorno de personalidad	65	88	84	77	58	75	57
45 – 49 años	Trastornos de ansiedad	543	738	860	744	736	762	709
	Alzheimer y otras demencias	24	3	1	0	3	4	5
	Trastornos conductuales asociados a demencia	2	1	1	1	0	0	0
	Esquizofrenia	9	12	26	14	3	4	6
	Primer episodio esquizofrenia con ocupación regular	0	0	0	0	0	0	1
	Retraso mental	14	17	17	17	17	21	19
	Trastorno de personalidad	79	106	99	96	80	92	66
50 – 54 años	Trastornos de ansiedad	640	835	974	900	848	928	878
	Alzheimer y otras demencias	12	3	1	1	4	6	4
	Trastornos conductuales asociados a demencia	5	4	4	2	2	0	0
	Esquizofrenia	16	21	30	12	6	5	3
	Primer episodio esquizofrenia con ocupación regular	1	0	0	0	0	0	0

Mercurio y efectos psiquiátricos tras incendios forestales: Estudio ecológico

55 – 59 años	Retraso mental	12	16	14	18	18	20	16
	Trastorno de personalidad	130	150	115	112	108	125	79
	Trastornos de ansiedad	525	742	984	817	834	893	859
	Alzheimer y otras demencias	10	5	4	5	9	9	5
	Trastornos conductuales asociados a demencia	1	2	6	5	2	0	0
	Esquizofrenia	9	13	20	15	5	10	14
	Primer episodio esquizofrenia con ocupación regular	0	0	0	0	0	0	0
	Retraso mental	11	17	13	16	15	21	22
60 – 64 años	Trastorno de personalidad	73	99	93	102	91	109	78
	Trastornos de ansiedad	477	652	776	720	765	831	792
	Alzheimer y otras demencias	15	8	4	15	13	14	14
	Trastornos conductuales asociados a demencia	1	1	0	1	2	0	0
	Esquizofrenia	8	12	11	11	7	13	5
	Primer episodio esquizofrenia con ocupación regular	0	0	0	0	0	0	0
	Retraso mental	4	10	5	6	6	10	9
	Trastorno de personalidad	72	76	65	66	65	83	60
65 – 69 años	Trastornos de ansiedad	493	657	805	752	786	838	809
	Alzheimer y otras demencias	19	13	7	14	16	19	13
	Trastornos conductuales asociados a demencia	5	5	3	6	0	0	0
	Esquizofrenia	6	6	3	3	2	3	4
	Primer episodio esquizofrenia con ocupación regular	0	0	0	0	0	0	0
	Retraso mental	3	4	3	5	2	2	8
	Trastorno de personalidad	56	55	48	48	50	62	37
70 – 74 años	Trastornos de ansiedad	382	526	599	593	613	654	653
	Alzheimer y otras demencias	19	22	33	34	24	22	24
	Trastornos conductuales asociados a demencia	9	10	9	5	0	0	0
	Esquizofrenia	2	4	4	4	2	1	1
	Primer episodio esquizofrenia con ocupación regular	0	0	0	0	0	0	0
	Retraso mental	0	0	0	1	1	1	1
	Trastorno de personalidad	25	30	23	26	27	34	21
75 – 79 años	Trastornos de ansiedad	278	354	455	421	465	485	522
	Alzheimer y otras demencias	25	42	41	48	45	54	52
	Trastornos conductuales asociados a demencia	13	10	9	7	0	0	0
	Esquizofrenia	2	2	1	1	3	4	2
	Primer episodio esquizofrenia con ocupación regular	0	0	0	0	0	0	0
	Retraso mental	0	1	2	1	2	1	1
	Trastorno de personalidad	8	9	12	12	9	18	9

Mercurio y efectos psiquiátricos tras incendios forestales: Estudio ecológico

80+ años	Trastornos de ansiedad	241	371	415	426	494	494	483
	Alzheimer y otras demencias	67	91	120	125	147	191	138
	Trastornos conductuales asociados a demencia	23	20	19	16	0	0	0
	Esquizofrenia	3	2	1	2	1	1	0
	Primer episodio esquizofrenia con ocupación regular	0	0	0	0	0	0	0
	Retraso mental	1	1	1	0	0	0	2
	Trastorno de personalidad	8	6	3	3	2	2	2

La tabla anterior expone la distribución de casos por grupo etario, para cada periodo según la causa de consulta en centros de salud, al igual que los gráficos anteriores.

Destaca que los trastornos de ansiedad, para gran parte de los grupos etarios, representa la principal causa de consulta, por sobre otras causas.

MODELO ESTADÍSTICO:

Dado lo observado, para evaluar la asociación entre los casos de patologías psiquiátricas y las variables de exposición, mediante método stepwise, se propone el siguiente modelo estadístico de regresión:

Output de STATA

· stepwise, pr(.05) pe(0.01): regress casos at sex edad periodo inc minc hec aci acm acum

		begin with full model			
p < 0,0500		for all terms in model			
Fuente	SumCuad	GL	Desv Media	Núm. Obs.	= 168.259
Modelo	73.575,1067	10	7.354,51067	F(10, 168248)	= 898,48
Residual	1.377.761,34	168.248	8,18887201	Prob > F	= 0,0000
Total	1.451.336,44	168.258	8,62566086	R ^2	= 0,0507
				R ^2 ajustado	= 0,0506
				Error Cuadrático Medio de la raíz	= 2,8616

casos	Coefficiente	(Int. Conf. 95%)	
Atención	-0,2444538	-0,25129606	-0,2376169
Sexo	-0,4672006	-0,4945472	-0,4398539
Edad	0,0253344	0,0225432	0,0281255
Periodo	0,0164152	0,0092785	0,0232518
Número de incendios en radio de 2km	0,0623199	0,0597539	0,0648859
Número de megaincendios en radio de 2km	-0,0537353	-0,082751	-0,0247195
Hectáreas afectadas totales en incendios y megaincendios en radio de 2km	-5,79 e ⁻⁶	-8,06 e ⁻⁶	-3,53 e ⁻⁶
Vegetación acumuladora de Hg en incendio, independiente de la magnitud	0,2676365	0,175023	0,36025
Vegetación acumuladora de Hg en megaincendio	0,3288211	0,2471378	0,4105043
Vegetación acumuladora de Hg en incendios en general	-0,322835	-0,4212497	-0,2244202
_cons	1,048988	0,9966808	1,101295

Mercurio y efectos psiquiátricos tras incendios forestales: Estudio ecológico

Por tanto, se establece la ecuación:

$$\begin{aligned} \text{Casos} = & 1,048988 + at(-0,244) + sexo(-0,467) + edad(0,253) + periodo(0,164) \\ & + \text{evento de incendio}(0,623) + \text{evento de megaincendio}(-0,054) \\ & + \text{hectáreas totales afectadas}(-5,79e^{-6}) \\ & + \text{vegetación acumuladora en eventos de incendio} (0,268) \\ & + \text{vegetación acumuladora en megaincendios}(0,329) \\ & + \text{vegetación acumuladora en general}(-0,323) \end{aligned}$$

Este modelo presenta un alfa de 0,05, con 10 grados de libertad, un R^2 y R^2 ajustado de 0,05, y una desviación estándar de 2,862. Todas las variables presentan p-value inferior a 0,05, por tanto, todas se consideran significativas.

En este modelo, las variables independientes son capaces de predecir la variable dependiente.

DISCUSIÓN:

En este estudio fue posible establecer que, la concentración de mercurio en aire incrementa en situaciones de incendios forestales, y, mediante las herramientas y criterios de ATSDR, se determinó que estos niveles alcanzados representan valores de riesgo para la población.

La cantidad de mercurio a liberar se asocia a dos factores: superficie afectada por incendios y vegetación involucrada en estos.

Es importante recordar que existen dos clasificaciones de CONAF para los incendios. Los eventos de incendios, los cuales corresponden a pequeñas extensiones afectadas, y los megaincendios, que corresponden a grandes extensiones de terreno. Estos se contabilizan estadísticamente como dos eventos distintos entre sí, es decir, un megaincendio no se contabiliza como un evento de incendio.

Se destaca que las principales vegetaciones involucradas en megaincendios de la temporada 2016 – 2017, son aquellas reconocidas como acumuladoras de mercurio (Pino y Eucalipto).

Estos valores analíticos se encuentran en el rango establecido por Biswas *et al.* (2008), por lo que es posible establecer que la región del Maule en su totalidad, para los incendios de la temporada 2016 – 2017, alcanzó niveles suficientes para estar

Mercurio y efectos psiquiátricos tras incendios forestales: Estudio ecológico

en riesgo de desarrollar mercurialismo. Se observa también que casi todas las provincias afectadas por incendios forestales alcanzaron niveles de riesgo. [2]

Esto permite plantear como diagnóstico diferencial, la intoxicación por mercurio, y realizar los tratamientos adecuados y oportunos, sumado a las acciones orientadas a prevenir las exposiciones de las poblaciones en casos de incendios forestales.

Respecto de las consultas psiquiátricas para 7 patologías específicas, es posible establecer que, en general, se produce un incremento en los casos, y luego estos disminuyen después de junio 2016, y este comportamiento de disminución se mantiene hasta diciembre 2016. Los casos luego tienden a estabilizarse, aumentando fuertemente en junio 2018. Este comportamiento tiene relación con los eventos de incendios, dado que, de acuerdo con la literatura consultada, a un año de la exposición a mercurio, es esperable que las consultas aumenten.

Las patologías de mayor frecuencia corresponden a trastornos de ansiedad, seguido de los trastornos de personalidad, y, en tercer lugar, Alzheimer y otras demencias.

Dado que no existen estudios similares, no es posible contrastar con otros antecedentes.

LIMITACIONES:

Sobre la metodología ATSDR para la evaluación de exposiciones ambientales, esta es una herramienta útil, pero no es fácil de comprender y utilizar en primera instancia, no obstante, permite modelar exposiciones a contaminantes específicos y limitar las zonas geográficas del estudio.

Las patologías evaluadas son limitadas, dado que, si bien estas pueden relacionarse a la exposición a mercurio, estas pueden no estar necesariamente asociadas a este metal. Es por ello por lo que, el único método para determinar si la patología es derivada de una exposición a mercurio, es mediante la realización de muestreos de mercurio.

Por otro lado, este estudio corresponde al primero que evalúa la relación entre incendios, liberación de mercurio y patologías psiquiátricas, como unidad. Otros estudios sólo han evaluado la relación entre incendios y patologías psiquiátricas, incendio y mercurio, y patologías psiquiátricas y mercurio, como duplas diagnósticas.

Dado que no existen estudios similares a nivel internacional y nacional, no es posible efectuar contraste de los hallazgos obtenidos.

Este estudio, al ser un estudio del tipo ecológico, no permite establecer que los resultados impliquen causalidad. Con los datos evaluados, si bien se observa que existe una relación, pero dado que el modelo no es capaz de explicar gran parte de

Mercurio y efectos psiquiátricos tras incendios forestales: Estudio ecológico

los casos, es posible establecer que es necesario incorporar nueva información al modelo.

Entre los datos que podrían ayudar a dilucidar más la relación, se podría considerar incluir datos de niveles de mercurio tanto en población como en ambiente, pero estos se encuentran limitados a las capacidades del país para efectuar tales mediciones, dado que pocos establecimientos pueden efectuar las mediciones de mercurio en sangre y/o muestras ambientales.

Para poder efectuar comparaciones con otras regiones, estas deben presentar las mismas características de conformación geológica, es decir, poseer un contenido importante de mercurio como parte de la estructura de los suelos, pero, a diferencia de la Región del Maule, no deben presentar eventos de incendios como los observados frecuentemente en esta región. Dada la conformación geológica del país, no existe otra zona geográfica que cumpla con estas características en el país.

CONCLUSIONES:

En consideración a lo anterior, y dada la población animal en la zona, en particular los animales domésticos, sería interesante efectuar mediciones de niveles de mercurio en sangre fuera de las temporadas de incendios, durante y posterior al término de estas, a modo de observar si hay variación, ya sea por cantidad de eventos, magnitud o tipo de vegetación involucrada.

A pesar de las limitaciones y restricciones del presente estudio, este permite establecer una orientación en el marco del principio precautorio, donde, posterior a eventos de megaincendio o numerosos incendios, la detección de patologías mentales deberá optimizarse, a modo de iniciar precozmente los respectivos tratamientos según la causa de estos.

REFERENCIAS:

1. Smith, H.G., et al., *Wildfire effects on water quality in forest catchments: a review with implications for water supply*. Journal of Hydrology, 2011. **396**(1-2): p. 170-192.
2. Biswas, A., J.D. Blum, and G.J. Keeler, *Mercury storage in surface soils in a central Washington forest and estimated release during the 2001 Rex Creek Fire*. Science of the Total Environment, 2008. **404**(1): p. 129-138.
3. Agency, U.S.E.P. *Health Effects of Exposure to Mercury*. 2018 16 feb 2018 05 sept 2018]; Available from: <https://www.epa.gov/mercury/health-effects-exposures-mercury>.
4. Registry, A.f.T.S.D. *ToxFAQs™ for Mercury*. Toxic Substances Portal 1999 12 mar 2015 10 sept 2018]; Available from: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tf.asp?id=113&tid=24>.
5. Ross, W.D., et al., *Need for alertness to neuropsychiatric manifestations of inorganic mercury poisoning*. Comprehensive psychiatry, 1977. **18**(6): p. 595-598.
6. Stier, P.A. and R.A. Gordon, *Psychiatric aspects of mercury poisoning*. Medical Update for Psychiatrists, 1998. **3**(5): p. 144-147.
7. Clifton II, J.C., *Mercury exposure and public health*. Pediatric clinics of north america, 2007. **54**(2): p. 237. e1-237. e45.

Mercurio y efectos psiquiátricos tras incendios forestales: Estudio ecológico

8. Firestone, J.A., et al., *Neurologic and psychiatric disorders*, in *Textbook of clinical occupational and environmental medicine*. 2005, Elsevier Inc. p. 645-694.
9. Skuster, D.Z., K.B. Digre, and J.J. Corbett, *Neurologic conditions presenting as psychiatric disorders*. *Psychiatric Clinics*, 1992. **15**(2): p. 311-333.
10. Risher, J.F., R.A. Nickle, and S.N. Amler, *Elemental mercury poisoning in occupational and residential settings*. *International journal of hygiene and environmental health*, 2003. **206**(4-5): p. 371-379.
11. Registry, A.f.T.S.D. *Toxicological Profile for Mercury*. Toxic Substances Portal 1999 18 ago 2018 10 sept 2018]; Available from: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp.asp?id=115&tid=24>.
12. Registry, A.f.T.S.D. *Toxicological Profile for Mercury - Addendum to the Profile*. Toxic Substances Portal 2013 18 ago 2018 10 sept 2018]; Available from: https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/mercury_organic_addendum.pdf.
13. Registry, A.f.T.S.D. *APPENDIX A: ATSDR MINIMAL RISK LEVEL AND WORKSHEETS*. Toxic Substances Portal 1999 jun 2019 05 ago 2019]; Available from: <https://www.atsdr.cdc.gov/mrls/mrllist.asp>.
14. Kumar, A., et al., *Mercury from wildfires: Global emission inventories and sensitivity to 2000–2050 global change*. *Atmospheric Environment*, 2018. **173**: p. 6-15.

15. Friedli, H.R., et al., *Initial Estimates of Mercury Emissions to the Atmosphere from Global Biomass Burning*. Environmental Science & Technology, 2009. **43**(10): p. 3507-3513.
16. Campos, I., et al., *Effects of wildfire on mercury mobilisation in eucalypt and pine forests*. Catena, 2015. **131**: p. 149-159.
17. Sigler, J.M., X. Lee, and W. Munger, *Emission and Long-Range Transport of Gaseous Mercury from a Large-Scale Canadian Boreal Forest Fire*. Environmental Science & Technology, 2003. **37**(19): p. 4343-4347.
18. Caamano-Isorna, F., et al., *Respiratory and mental health effects of wildfires: an ecological study in Galician municipalities (north-west Spain)*. Environmental Health, 2011. **10**(1): p. 48.
19. Cherry, N. and W. Haynes, *Effects of the Fort McMurray wildfires on the health of evacuated workers: follow-up of 2 cohorts*. CMAJ open, 2017. **5**(3): p. E638.
20. Laugharne, J., G. Van de Watt, and A. Janca, *After the fire: the mental health consequences of fire disasters*. Current opinion in psychiatry, 2011. **24**(1): p. 72-77.
21. Ursano, R.J., et al., *Individual and Community Responses to Disasters*, in *Textbook of Disaster Psychiatry*, B. Raphael, et al., Editors. 2017, Cambridge University Press: Cambridge. p. 1-26.

22. Benedek, D.M. and G.H. Wynn, *Acute Stress Disorder and Posttraumatic Stress Disorder*, in *Textbook of Disaster Psychiatry*, B. Raphael, et al., Editors. 2017, Cambridge University Press: Cambridge. p. 101-123.
23. Úbeda, X. and P. Sarricolea, *Wildfires in Chile: A review*. *Global and Planetary Change*, 2016. **146**: p. 152-161.
24. Sarricolea, P., et al., *Recent wildfires in Central Chile: Detecting links between burned areas and population exposure in the wildland urban interface*. *Science of The Total Environment*, 2020. **706**: p. 135894.
25. CONAF. *Estadísticas - Ocurrencia y Daño por Incendios Forestales según Incendios de Magnitud 1985 - 2018*. Anual 2019; visited 05 ago 2019]; Available from: <http://www.conaf.cl/incendios-forestales/incendios-forestales-en-chile/estadisticas-historicas/>.
26. (SSMaule), S.d.S.M. *REPORTES SERIES REM 2018*. REM 2018 13/01/2020; Available from: <https://www.ssmaule.cl/diq/bioestadistica/>.
27. (IDE), I.d.D.G. *Información Territorial*. 2020; Available from: <https://www.ide.cl/index.php/informacion-territorial/descargar-informacion-territorial>.
28. CONAF. *Sistema de Información Territorial*. SIT 2020; Available from: <https://sit.conaf.cl/>.
29. CONAF, *Los Grandes Incendios Forestales en Chile 1985-2009*, CONAF, Editor. 2010, Ministerio de Agricultura. p. 13-14.

30. SERNAGEOMIN, *Anuario de la minería de Chile 2017*, in *Anuario de la minería de Chile*, S.N.d.G.y. Minería, Editor. 2018, Servicio Nacional de Geología y Minería: Santiago, Chile. p. 67 - 136.
31. SERNAGEOMIN, *Anuario de la minería de Chile 2014*, in *Anuario de la minería de Chile*, S.N.d.G.y. Minería, Editor. 2015, Servicio Nacional de Geología y Minería: Santiago, Chile.
32. SERNAGEOMIN, *Anuario de la minería de Chile 2011*, in *Anuario de la minería de Chile*, S.N.d.G.y. Minería, Editor. 2012, Servicio Nacional de Geología y Minería: Santiago, Chile.
33. Estrada-Cely, G.E. and J.P. Parra-Herrera, *Las implicaciones éticas y bioéticas en la investigación científica*. CES Medicina Veterinaria y Zootecnia, 2016. **11**: p. 115-118.
34. UNESCO, I.B.C.o., *Report of the IBC on big data and health*, I.B.C.o. UNESCO, Editor. 2017: España.
35. Resnik, D.B. *What is ethics in research & why is it important*. 2020 14 abril 2021 15 abril 2022]; Available from: <https://www.niehs.nih.gov/research/resources/bioethics/whatis/index.cfm>.
36. ASTDR, *Public Health Assessment Guidance Manual (Update)*. 2004.
37. Börgel, L. and M. Schulthess, *Tools for risk assessment of acute and chronic effects due to metal and metalloid exposition*. Health and Technology, 2018. **8**(1-2): p. 71-79.