

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN

FACULTAD DE CIENCIAS



**Facultad de
Ciencias**
Universidad Católica de la Santísima Concepción

**TITULO: "IMPACTO DE LA CERTIFICACIÓN DE LOS CALEFACTORES
DOMICILIARIOS A LEÑA Y PELLETS EN LA REDUCCIÓN DEL MATERIAL
PARTICULADO DE LA REGION DEL BIOBÌO"**

Por

YASNA KARINA FREIRE REYES

Memoria entregada a la Facultad de Ciencias de la Universidad Católica de la Santísima Concepción para optar al título profesional de Químico Ambiental.

Profesor Guía: - Dr. Javier Fernández

Profesor Patrocinante: - Jonathan Troncoso

Concepción

2022

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia agradezco a Dios por estar siempre y sin condiciones. A mi familia por su apoyo durante mis años académicos y por ser el motor para que terminara esta etapa de mi vida.

A mis amigos(as), que conocí en la Universidad y que actualmente son parte importante en mi vida.

Al Dr. Javier Fernández por su ayuda, paciencia y atención prestada.

Finalmente, y de manera muy especial a Jonathan Troncoso y todo el equipo de CESMEC, por su gran disposición, dedicación y ayuda sin la cual este trabajo no hubiese sido posible.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	2
1.RESUMEN	10
2.INTRODUCCIÓN	11
3. OBJETIVOS	17
3.1 Objetivo General.....	17
3.2 Objetivos Especificos.....	17
4 METODOLOGÍA	18
4.1 Evolución de las políticas ambientales chilenas aplicadas a los calefactores a leña y pellets y su relación con el manejo de las emisiones de material particulado 2,5.....	18
4.2 Cuantificación de la concentración de Material Particulado emitido de los calefactores a Leña y Pellet en su proceso de certificación.....	19
4.3 Comparación de la emisión de material particulado de los artefactos de Leña y Pellet ya certificados.....	33
4.4 Evaluación a la certificación de los calefactores a Leña y Pellet, en relación con la disminución de material particulado 2,5 emitida en el Gran Concepción.....	34
5. RESULTADOS	35
5.1 Resultados del seguimiento de la evolución y aplicación de las políticas ambiental chilenas instauradas para el control de emisión de material particulado 2,5 y la certificación de los artefactos a leña y pellets.....	35

5.2 Resultados de la aplicación de los métodos para cuantificar las emisiones de material particulado de un calefactor a leña y pellet durante su proceso de certificación.....	41
5.3 Resultados al seguimiento y comparación de la emisión de material particulado de los calefactores a leña y pellets certificados a la fecha.....	48
5.4 Resultados relacionados a la incorporación de la certificación de los calefactores a leña y pellets en la disminución de la emisión de material particulado 2,5, en la región del Biobío.....	51
6. Conclusión y Discusión.....	73
7. BIBLIOGRAFÍA.....	76

Índice de tablas (anexos)

Tabla 1: Características del combustible de la madera de Eucaliptus globulus:	19
Tabla 2: Categorías de velocidad de exposición de quemado del calefactor para la medición de emisiones	27
Tabla 3: Valores límites de emisión de MP2,5 según el Decreto N°12	36
Tabla 4: Niveles de emergencia ambiental para MP2,5, según el decreto N°12 implementado en Chile.....	37
Tabla 5: Características de la muestra de Leña utilizada en la corrida de medición de emisiones.....	41
Tabla 6: Caracterización general del artefacto a leña (L) previo a la realización del ensayo.....	42
Tabla 7: Registros medidos de temperaturas a distintos tiempos para la obtención del yc	42
Tabla 8: Valores registrados del artefacto a leña (L) en sus 4 categorías, medidos en la base de control.....	43
Tabla 9: Valores recopilados en las corridas de mediciones durante el Pre-ensayo específicamente en el eje 1.....	43
Tabla 10: Valores recopilados en las corridas de mediciones durante el Pre-ensayo específicamente en el Eje 2.....	43
Tabla 11: Características de la muestra de pellet utilizada en la corrida de medición de emisiones.....	44

Tabla 12: Caracterización general del artefacto a pellet (P) previo a la realización del ensayo.....	44
Tabla 13: Registros medidos para la obtención del yc.....	45
Tabla 14: Valores registrados del artefacto a Pellet (P) en sus 4 Potencias, medidos en la base de control, de la cual se obtuvieron los datos necesarios para obtener el punto de la velocidad promedio.....	45
Tabla 15: Valores recopilados en las corridas de mediciones durante el Pre-ensayo realizados específicamente en el Eje 1	46
Tabla 16: Valores recopilados en las corridas de mediciones durante el Pre-ensayo estos realizado específicamente en el Eje 2.....	46
Tabla 17: Información general de las 5 estaciones seleccionadas	52

Índice de figuras

Figura 1: Disposición de la leña para test de combustión.....	41
Figura 2: Emisiones de material particulado de los calefactores a leña certificados en el país.....	49
Figura 3: Emisiones de material particulado de los calefactores a Pellets certificados en el país.....	50
Figura 4: Estaciones de monitoreo seleccionadas.....	51
Figura 5: Estación de monitoreo Kingston College con la información general de esta estación.....	53
Figura 6: Promedios de emisión de MP2,5 durante las estaciones otoño-invierno de la estación de monitoreo Kingston College de la ciudad de Concepción entre los años 2012 y 2018.....	54
Figura 7: Promedios de emisión de MP2,5 anual entre los años 2012 y 2018 de la estación de monitoreo Kingston College de la ciudad de Concepción.....	55
Figura 8: Estación de monitoreo Liceo Polivalente ubicada en la ciudad de Tomé con la información general de esta estación.....	56
Figura 9: Promedios de emisión de MP2,5 durante las estaciones otoño-invierno de la estación de monitoreo Liceo Polivalente de la ciudad de Tomé entre los años 2012 y 2018.....	57

Figura 10: Promedios de emisión de MP2,5 anual entre los años 2012 y 2018 de la estación de monitoreo Liceo Polivalente de la ciudad de Tomé.....	58
Figura 11: Estación de monitoreo consultorio San Vicente ubicada en la ciudad de Talcahuano, con la información general de esta estación.....	60
Figura 12: Promedios de emisión de MP2,5 durante las estaciones otoño-invierno de la estación de monitoreo consultorio San Vicente de la ciudad de Talcahuano entre los años 2012 y 2018.....	61
Figura 13: Promedios de emisión de MP2,5 anual entre los años 2012 y 2018 de la estación de monitoreo estación Consultorio San Vicente de la ciudad de Talcahuano.	62
Figura 14: Estación de monitoreo Punteras ubicada en Chiguayante y su respectiva información general	63
Figura 15: Promedios de emisión de MP2,5 durante las estaciones otoño-invierno de la estación de monitoreo Punteras de Chiguayante, entre los años 2012 y 2018.	64
Figura 16: Promedios de emisión de MP2,5 anual entre los años 2012 y 2018 de la estación de monitoreo Punteras de Chiguayante.....	65
Figura 17: Estación de monitoreo 21 de mayo ubicada en la ciudad de los Ángeles, con la información general de esta estación.....	67
Figura 18: Promedios de emisión de MP2,5 durante las estaciones otoño-invierno de la estación de monitoreo 21 de Mayo de la ciudad de los Ángeles entre los años 2012 y 2018.....	68
Figura 19: Promedios de emisión de MP2,5 anual entre los años 2012 y 2018 de la estación de monitoreo 21 de mayo de la Ciudad de los Ángeles.....	69

Figura 20: Promedios de emisión de MP2,5 anual (2012-2018) de las 5 estaciones de monitoreo seleccionadas (Estación 21 de mayo, estación Punteras, estación Consultorio San Vicente, estación Kingston College y estación Liceo Polivalente).....72

1 RESUMEN

La contaminación atmosférica, principalmente por material particulado (MP 2,5), es un problema que afecta considerablemente la salud de gran número de personas, debido a que provoca mala calidad del aire y de vida. Las ciudades de Chile ubicadas en las zonas Centro y Sur del país, son las que presentan mayor nivel de emisión de este contaminante, esto debido a que la principal fuente de calefacción utilizada en estas zonas son las estufas a leña. Es por esta razón que desde un tiempo se han tomado algunas medidas de mitigación de este impacto negativo, una de ellas es la certificación de estufas a Leña y Pellet.

En el presente trabajo se monitoreó 5 estaciones correspondientes a las comunas de Chiguayante, Tomé, Concepción, Los Ángeles y Talcahuano; y se comparó los niveles de emisión de MP 2,5; entre los artefactos a leña y pellet; obteniendo que, si bien es cierto la certificación de estos artefactos, tiene un factor positivo en cuanto a la eficiencia y seguridad, pero no así en la disminución de MP 2,5.

2.- INTRODUCCIÓN

A lo largo de los años, la sociedad ha tomado consciencia de lo importante que es establecer políticas ambientales que regulen la contaminación atmosférica proveniente de la acción antropogénica, con la finalidad de evitar episodios como los ocurridos en el Valle del Mosa en 1930, en Donora (Pennsylvania, EEUU) en 1948 y en Londres en 1952, en las que producto del escaso control de la emanación de contaminantes a la atmósfera se generaron episodios críticos de contaminación con consecuencias catastróficas para los ecosistemas y la salud de las personas. (Etze et al., 2000).

Estos episodios fueron generando conciencia en la población lo que condujo a que diversos países crearan políticas de control de la contaminación atmosférica, especialmente en los países de Europa Occidental y en Estados Unidos, los que, a lo largo de los años, han logrado reducir los niveles de contaminación de sus localidades.

Pero a pesar de los esfuerzos de algunos países, según la Organización mundial de la salud en los últimos años, 9 de cada 10 personas en todo el mundo respira aire contaminado. (OMS.,2018) y reconoce que la contaminación del aire es un factor de riesgo crítico para las enfermedades no transmisibles.

Es por esto que a lo largo de los años se han creado y tomado medidas de control para abordar la contaminación atmosférica, para esto se han realizado una serie de estudios epidemiológicos y observacionales los cuales han demostrado que existe una relación entre la contaminación atmosférica y el aumento de las enfermedades respiratorias y cardiovasculares en la población.

Uno de los estudios realizado por la OMS estima que alrededor de 7 millones de personas mueren cada año por la exposición a partículas finas en el aire contaminado que penetran profundamente en los pulmones y el sistema cardiovascular, causando enfermedades que incluyen accidentes cerebrovasculares, enfermedades cardíacas, cáncer de pulmón, enfermedades

pulmonares obstructivas crónicas e infecciones respiratorias, incluida la neumonía. (OMS.,2018).

También existen estudios internacionales que confirman estos resultados, fue el que se realizó en 20 ciudades de Estados Unidos, en los que se demuestra que el material particulado en el aire está asociado con el riesgo de muerte por enfermedades cardiovasculares y respiratorias (Samet et al., 1994). En este mismo país, la Universidad de Brigham Young (Provo, Utah, EE.UU), afirma que la exposición a material particulado es un importante factor de riesgo ambiental para la mortalidad por cáncer cardiopulmonar y pulmón (Pope et al., 2000).

Otro país que realizó estudios epidemiológicos para comprobar los efectos de la exposición a contaminantes atmosféricos fue Cuba, específicamente en la ciudad de la Habana en el año 2006, los cuales demostraron que la exposición a contaminantes atmosféricos incide en el aumento de las enfermedades respiratorias como asma y deterioro del funcionamiento pulmonar; las que afectan con mayor gravedad a niños, adolescentes y adultos mayores (Romero et al.,2006).

Chile no ha sido la excepción también ha realizado estudios, uno de estos fue elaborado en la ciudad de Temuco, por un grupo de profesionales del área de la salud los cuales efectuaron la relación de la contaminación atmosférica por material particulado con el aumento de las enfermedades respiratorias agudas en menores de 5 años. En este estudio se afirma que, en los periodos de mayor cantidad de contaminación atmosférica, aumentan las consultas médicas por infecciones respiratorias agudas (Barrios et al.,2004) y otro estudio realizado en esta misma ciudad corrobora la asociación estrecha entre la contaminación atmosférica con “enfermedades respiratorias” (Álvarez et al.,2018).

Por otra parte, se realizó un estudio el año 2010 en algunas ciudades chilenas con niveles críticamente altos de contaminación atmosférica, en el que se hizo una revisión de los efectos de la contaminación intra y extradomiciliaria sobre la salud humana, concluyendo que la exposición a contaminantes del aire no solo puede aumentar la tasa de morbilidad, la tasa de mortalidad, sino también puede aumentar

el número de ingresos hospitalarios de pacientes con síntomas respiratorios y cardiovasculares. (Oyarzun et al.,2010)

La contaminación atmosférica no es tan solo un riesgo para la salud sino también un lastre para el desarrollo. Por ser causa de enfermedad y fallecimiento prematuro, la contaminación atmosférica reduce la calidad de vida. Por ocasionar la pérdida de mano de obra productiva, también reduce los ingresos en los países. (World Bank, 2016)

Un estudio realizado por el Banco Mundial y el Instituto de Métricas y Evaluación de la Salud (IHME) en el año 2013, estimó que 5,5 millones de vidas se perdieron a causa de enfermedades asociadas con la contaminación del aire exterior y doméstico, que causaron sufrimiento humano y redujeron el desarrollo económico. Esas muertes le costaron a la economía mundial alrededor de 225 mil millones de dólares en ingresos laborales perdidos. (World Bank, 2016)

Es por esto, que se ha tomado conciencia sobre la importancia de tomar medidas para disminuir y controlar los episodios de contaminación del aire que se producen en diversas ciudades del país. Considerando que la contaminación del aire es uno de los problemas ambientales más complejos que enfrenta Chile (MMA, 2018) y según la ley N°20.417 es deber del estado dictar normas, tanto de calidad como de emisión, que regulen la presencia de contaminantes, con el fin de prevenir que estos puedan significar un riesgo para la salud de las personas.

Para tomar las medidas correspondientes, se tiene que buscar el origen de los contaminantes atmosféricos quienes tienen un aumento en las estaciones de otoño-invierno, debido a que se incrementa el uso de la leña y derivados de la madera como forma de calefacción en centros urbanos de las zonas centro y sur.

Uno de los estudios que indica que el aumento del uso de la leña y derivados de la madera, son los responsables de la contaminación atmosférica, es el realizado el año 2007 en la ciudad de Chillán, en el que se establece que la contaminación

atmosférica es de origen antropogénico teniendo su alza en las estaciones de otoño e invierno, debido al uso masivo de leña y derivados de la madera como combustible para calefacción residencial, lo que ha llegado a provocar la formación de una densa nube de humo en los días con estabilidad atmosférica. (Cortés et al.,2013)

A pesar de las diversas alternativas actuales para calefacción de los hogares de las familias chilenas, la leña y sus derivados ha sido utilizada en mayor proporción en comparación al resto de las alternativas, en las ciudades centro-sur del país. Principalmente es el bajo costo monetario en la adquisición, el responsable de que se priorice su uso como combustible para calefacción. De acuerdo con la información entregada por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) el ingreso promedio mensual de los hogares chilenos en el año 2016 fue de \$350.000 neto, provocando dificultades a la hora de costear una forma de calefacción de mayor costo, por lo que la leña y sus derivados seguirán siendo la principal opción de calefacción de los hogares (Gómez-Lobo, 2005).

Otro de los factores a considerar es que la leña produce un importante mercado para las economías regionales del país. Anualmente, genera entre 108.000 y 165.000 empleos en el país y más del 60% se relacionan con la fase de producción de leña (RedPE, 2020).

A pesar del beneficio económico que la comercialización de la leña genera anualmente, el mal uso de este combustible produce impactos ambientales importantes a nivel local. Destacando el aumento en las emisiones de material particulado a la atmosfera, generado principalmente por una mala combustión de la leña debido al exceso de humedad y el mal uso de los artefactos por parte de los usuarios. Por lo anterior, es que la leña es considerada como uno de los factores de aumento en el deterioro de la calidad del aire en las principales ciudades de la VI a la XI Regiones y también, en parte, es fuente de los problemas de calidad del aire en la Región Metropolitana. Entre las ciudades más afectadas se encuentran Osorno, Temuco, Rancagua, Talca, Chillán, Valdivia, Coyhaique y Santiago

(Bustos et al., 2017).

Para controlar el deterioro de la calidad del aire que produce el aumento del uso de la leña en estufas domiciliarias, en los periodos de otoño-invierno, se implementaron medidas como los instrumentos de gestión ambiental los que incluyen Planes de Descontaminación y Prevención, Normas de emisión, Información al consumidor y acuerdos voluntarios.

En Chile para controlar el estado de la calidad del aire y verificar que los valores de contaminantes no sobrepasen a los estándares establecidos en las normas primarias de calidad ambiental, se analizan los registros que entregan las estaciones de monitoreo con representatividad poblacional. A nivel nacional, existen estaciones públicas y privadas, estas últimas fueron instaladas por el marco de exigencias establecidas en resoluciones de calificación ambiental, para realizar un seguimiento de los impactos de los proyectos o planes de descontaminación.

La mayor parte del monitoreo de calidad del aire que se realiza a lo largo de Chile se ha orientado preferentemente al material particulado 2,5, ya que este ha sido asociado reiteradamente a eventos de mortalidad y morbilidad en la población (Pope y Dockery, 2006). El diámetro de esta partícula es tan fino que es capaz de provocar impactos no menores en la salud, es por esto que necesita un mayor control de la cantidad de emisiones de MP2,5 a la atmosfera.

La Normativa relacionada al control del material particulado implementadas en Chile, data del siglo XX en que se empezaron a instaurar las primeras normas de emisión y calidad del aire, específicamente en los años 1961 y 1978 respectivamente. A lo largo de los años se han realizado estudios y proceso de revisión de la normativa con el fin de su mejoramiento. Consecuentemente con lo anterior, actualmente existen normas primarias de calidad ambiental de alcance nacional, las cuales regulan la concentración de material particulado en el aire. (Matus et al.,2002).

Otra de las medidas instauradas en Chile para disminuir la contaminación atmosférica provocada por el aumento de las emisiones de material particulado provocado por el uso de estufas a leña, es la certificación de estos artefactos, ya que antes del año 2014 las estufas no estaban certificadas por lo cual no existía un control de la calidad y cantidad de estos artefactos. Es la ley N°20.586 la que tiene relación en estos ámbitos ya que regula la certificación de los artefactos para combustión a leña y otros productos dendroenergéticos. Esta ley le da facultades a la Superintendencia de Electricidad y Combustible, para que fiscalice y autorice a organismos de certificación y Laboratorios de Ensayo.

Los beneficios que tiene certificar las estufas a leña y pellets en Chile, es que dichos artefactos, antes de su comercialización están expuestos a pruebas relacionadas a aspectos de seguridad, eficiencia energética y emisiones de material particulado.

3.- OBJETIVOS

3.1.- Objetivo General:

- Evaluar si la incorporación de las políticas ambientales instauradas en los últimos años a los calefactores domiciliarios a leña y pellets produjo una disminución de la cantidad de material particulado emitida en la región del Biobío.

3.2.- Objetivos Específicos:

- Realizar un seguimiento sobre la evolución y aplicación de las políticas ambientales relacionadas al control de los calefactores a leña y pellets, en Chile
- Aplicar los métodos para cuantificar las emisiones de material particulado de un calefactor a leña y pellets durante su proceso de certificación.
- Realizar un seguimiento de los artefactos certificados a la fecha y hacer una comparación de emisión de material particulado entre calefactores a leña y calefactores pellets.
- Verificar si la incorporación de la certificación de los calefactores a leña y pellets produjo una disminución de la cantidad de material particulado emitida en la región del Bio Bio

4.- METODOLOGÍA

El experimento se desarrolló en el Centro de Estudios de Medición y Certificación de Calidad, CESMEC S.A. La parte teórica se realizó en la Facultad de Ciencias de la Universidad Católica de la Santísima Concepción (UCSC), Concepción, Chile

4-1: Evolución de las políticas ambientales chilenas aplicadas a los calefactores a leña y pellets y su relación con el manejo de las emisiones de MP 2,5.

Para realizar el primer objetivo específico se procedió de la siguiente manera:

- Se realizó un estudio exhaustivo de la evolución de la política ambiental relacionada con calefactores a leña y pellets, pudiendo ser leyes, decretos, normas, reglamentos, protocolos, etc.
- Se buscó información de la política ambiental chilena que se aplique a la cuantificación de emisiones de MP 2,5 proveniente de los calefactores a leña y pellets.
- Se investigó en relación con la fecha en la que fueron aplicadas la certificación a los calefactores a leña y pellets

4-2: Cuantificación de la concentración de Material Particulado emitido de los calefactores a Leña y Pellet en su proceso de certificación

Para la cuantificación de MP2,5, se analizaron 2 artefactos uno a Leña (L) y otro a Pellets (P), los cuales fueron sometidos a este ensayo en el laboratorio de CESMEC. Se procedió de la siguiente manera:

Los materiales utilizados en el presente trabajo fueron:

Madera de Eucaliptus globulus: Se utilizó madera de eucaliptus globulus, secada al aire, sin tratar. No se permite madera secada al horno. Cuando la Autoridad Competente lo requiera ésta debe ser certificada

El combustible utilizado en el test debe presentar un rango de contenido de humedad entre 12 a 18% en base húmeda (15 a 23% en base seca). No se permite la adición de humedad en madera previamente seca. Se recomienda almacenar el combustible para el ensayo en una sala con humedad y temperatura controladas. A continuación, se presenta en la siguiente tabla las características de la madera Eucaliptus globulus utilizada como combustible

Tabla N°1: Características del combustible de la madera de Eucaliptus globulus:

Tipo de Madera	Eucaliptus globulus
Contenido de Humedad	12 a 18% en base húmeda
Temperatura	18 y 32 °C
Dimensiones	2x4 y 4x4 pulgadas

Pellets: Se utilizó pellet granulado alargado a base de madera como combustible, obtenido de un distribuidor. Este combustible se fabrica mediante un prensado de aserrín adonde la lignina ocupa la función de aglomerante. Este proceso les da una apariencia brillante y más densa que la madera original.

Preparación de las muestras

- Muestra de Leña (Eucaliptus globulus):

Se preparó con dimensiones preestablecidas, estas fueron cortadas cumpliendo las medidas nominales de la madera (Ver tabla 1). En las que cada unidad del combustible (no se incluyen los separadores) debe tener un largo igual y se debe aproximar a 5/6 las dimensiones del largo de la cámara de combustión utilizable. Se deben determinar las dimensiones de la unidad de combustible en relación con el volumen de la cámara del artefacto.

Separadores del combustible para las mediciones:

Son de eucaliptus globulus, secado al aire y que cumple con las propiedades para combustible establecidas. Los separadores deben ser de 130 x 40 x 20 mm. (5 x 1,5 x 0,75 pulg.).

- Muestra de pellets:

Como este combustible se obtuvo a través de un distribuidor y está envasado no es necesario una preparación previa, aparte de medir su % de humedad. El combustible de prueba debe ser pellets de madera con un contenido de humedad no superior al 12% en base húmeda (13,6% base seca). El tamaño de la carga del combustible de medición debe corresponder con las instrucciones escritas del fabricante para mantener la velocidad de quemado deseada en el calefactor.

Equipamiento:

Cámara de combustión:

Se utilizó la cámara del calefactor a leña donde se colocó la carga de combustible y se produjo la combustión.

Chimenea aislada con relleno sólido:

Se utilizó chimeneas aisladas con relleno sólido deben tener un mínimo de 2,5 cm (1 pulg.) de material aislante sólido que cubre todo el ducto.

Balanza de plataforma y monitor:

Se monitoreó los cambios en el peso de la carga de combustible en una balanza con plataforma. La balanza debe tener la capacidad para medir pesos dentro de 0,05 kg (0,1 lb) o 1% del peso inicial de la carga de combustible para el test, el que sea mayor.

Monitores de temperatura de calefactores a leña: Se controló las temperaturas del calefactor con siete monitores, que tienen la capacidad para medir temperaturas dentro de un 1,5% de las temperaturas absolutas esperadas.

Monitor de temperatura de la instalación para efectuar el ensayo: Se monitoreó la temperatura con un monitor ubicado central y verticalmente en un protector de 150 mm de largo (6 pulg.) y 50 mm de diámetro (2 pulg.), abierto en ambos extremos, con la capacidad para medir temperaturas dentro del 1,5% de las temperaturas esperadas.

Balanza (opcional): Se utilizó una balanza con la capacidad para pesar la carga de combustión para el test dentro de 0,05 kg (0,1 lb).

Medidor de humedad: Con un medidor calibrado de resistencia eléctrica se midió la humedad del combustible de prueba dentro del 1% del contenido de humedad.

Anemómetro: Se utilizó un anemómetro con la capacidad de detectar velocidades del aire inferiores a 0,10 m/s (20 pies/min). Con este se midió las velocidades del aire cerca del artefacto para la prueba.

Barómetro: Se utilizó un barómetro de mercurio, aneroide u otro barómetro, con este se midió las presiones atmosféricas dentro de 2,5 mm Hg (0,1 pulg. Hg).

Medidor de tiraje: Se usó electro manómetro u otro artefacto para determinar el tiraje del ducto o la presión estática, este tiene la capacidad para obtener lecturas dentro de 0,50 Pa (0,002 pulg. H₂O).

Medidor de la humedad Psicrómetro o higrómetro: Se midió la humedad ambiente del laboratorio donde se realizó el ensayo.

Procedimiento:

Para la medición del material particulado en artefacto a Leña (L): Se utilizaron los siguientes procedimientos:

Se midieron las emisiones del material particulado del calefactor a leña (L), el cual quemó un combustible en un contenedor de prueba, manteniendo reguladas las condiciones preestablecidas. Para la determinación de emisiones de partículas en calefactores a leña se utilizó un túnel de dilución, que se muestra en la siguiente figura:

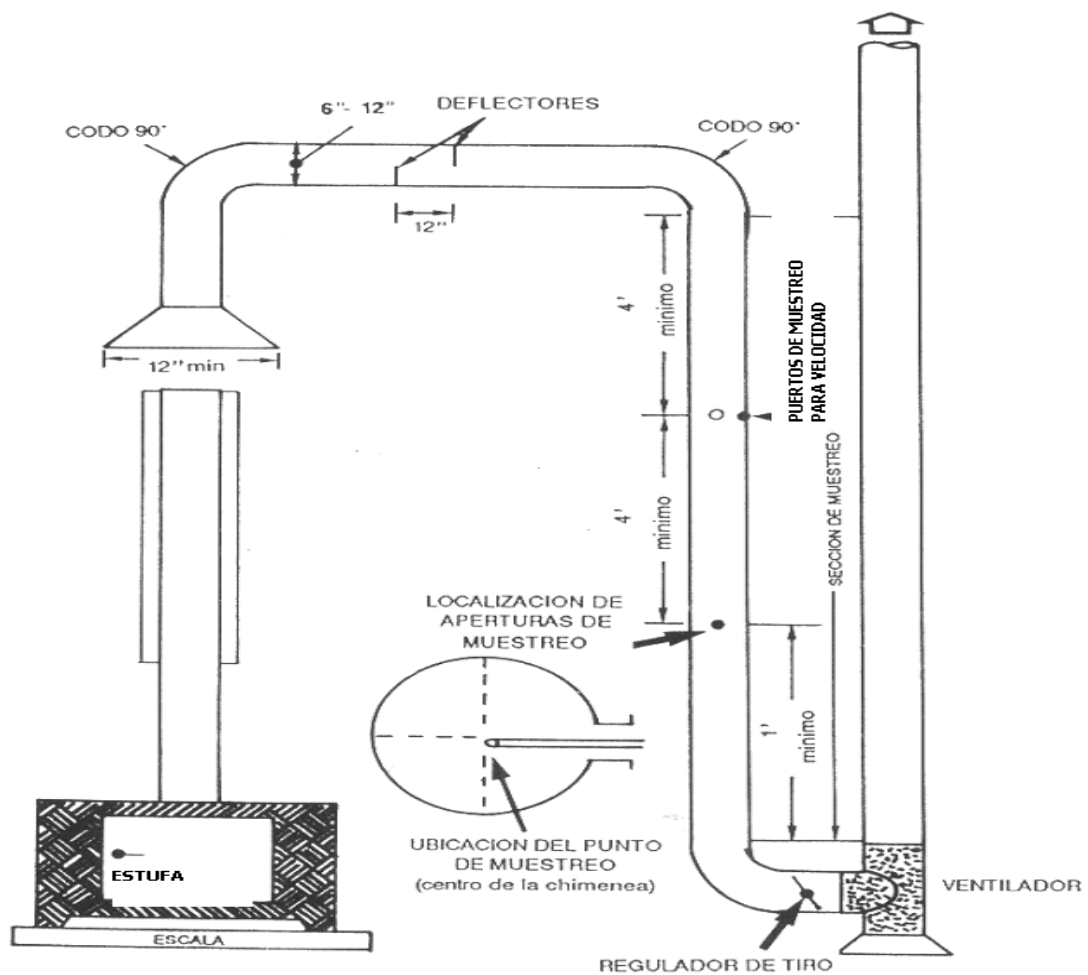


Fig.1: Detalles de la estructura del túnel de dilución (Imagen obtenida de <https://www.ispch.cl/sites/default/files/METODO%20CH-5G%20%282%29.pdf>).

A continuación, se presentan las distintas etapas a considerar:

1. Preparar el calefactor a leña (L):

Se registraron las dimensiones de la cámara y otras especificaciones necesarias para identificar el calefactor para el propósito de certificación.

Se instaló el calefactor a leña (L). Se colocó centralmente el calefactor a leña en una balanza de plataforma y se conectó el calefactor con el ducto. Se limpió el ducto con una escobilla metálica para chimeneas de tamaño adecuado antes del test de certificación. Antes de iniciar el test de certificación, al calefactor a leña (L) se le realizó envejecimiento (curado) y de la cámara de combustión catalítica.

2. Determinación del tiraje del calefactor a Leña (L):

Se ajustó la distancia entre la parte superior del escape de la chimenea del calefactor a leña (L) y la campana del túnel de dilución, de modo que el tiraje inducido por el túnel de dilución fuera inferior a 1,25 Pa (0,005 pulg. H₂O). No debe existir fuego en el calefactor a leña, se cerró las puertas del calefactor y se abrió completamente los controles de suministro de aire durante esta revisión y ajustes.

3. Ignición previa a la medición. Se encendió el fuego en el calefactor a leña (L) siguiendo las instrucciones del fabricante.

4. Carga de leña combustible previa a la medición: Se utilizó papel de diario arrugado con trozos de astillas para encender la leña. Este combustible, se usó solo para mantener el fuego.

5. Ajustes y operación del calefactor a leña (L). Ignición-Pretest:

Se ajustaron los controles de suministro de aire, adiciones o sustracciones de combustible y atizamiento del lecho de cenizas que se realizaron hasta 15 minutos antes del inicio de la corrida de mediciones.

Se registraron todos los ajustes efectuados en los controles de suministro de aire, ajustes y adiciones o sustracciones de leña combustible y los cambios en las

operaciones del calefactor a leña (L) que ocurrieron durante el período de ignición previo al test. Se anotaron los datos sobre el peso de la leña combustible y mediciones de las temperaturas del calefactor a leña a con intervalos de 10 minutos durante la hora del período de ignición previo al test que precede el inicio de la corrida de test.

Durante el período de 15 minutos previo al inicio de la corrida de test sólo se permitió utilizar un atizador.

Se determinó el peso de la leña combustible de pretest al comienzo de la corrida de medición como la diferencia entre el peso del calefactor a leña con la leña de pretest restante y la tara del calefactor a leña seco y limpio con o sin cenizas secas o arena agregada coherente con las instrucciones del fabricante y el manual del propietario. Se debió determinar el peso tara del calefactor a leña con el calefactor (y cenizas, en caso de agregarse) en condiciones secas.

6. Mediciones de Velocidad al calefactor a Leña (L): Se realizó una travesa de velocidad durante el periodo de ignición previo al muestreo para identificar la velocidad promedio.

7. Traversas de Velocidad al calefactor a Leña (L): Se obtuvieron las travesas de velocidad, localizando el tubo Pitot calibrado al centro de la chimenea. Se realizó la lectura de Δp y de la temperatura hasta que la velocidad se mantuviera constante durante 1 minuto. Posteriormente que la velocidad estuvo constante al centro del ducto, se realizó la travesa de velocidad. Se midió Δp y la temperatura del túnel en cada punto travesa y se registraron las lecturas. Se calculó la velocidad total del flujo del gas de chimenea. Se verificó que la velocidad de flujo estuviese dentro de los rangos.

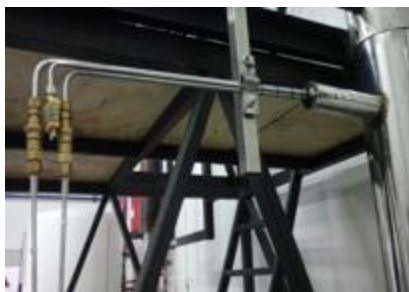


Fig.2: Tubo Pitot (Imagen obtenida del Laboratorio Área Combustibles CCP y Certificación de Productos, CESMEC S.A. Empresa BUREAU VERITAS. Concepción, Chile)

8. Mediciones de la velocidad durante el muestreo: Se eligió un punto de velocidad promedio y se colocó el tubo Pitot y la termocupla en esa ubicación en el ducto. Alternativamente, se ubicó el tubo Pitot y la termocupla al centro del ducto y se calculó un factor de corrección de velocidad para la posición central. Se fijó el tubo Pitot con el fin de garantizar que éste no se moviera durante la ejecución del muestreo. Se monitoreo la temperatura y la velocidad durante el período de ignición previo al muestreo para garantizar un flujo constante adecuado.
9. Procedimientos para verificación de fuga: Se realizó prueba de fuga antes y después del ensayo, para realizar la verificación de fuga se utiliza una sonda, la que se muestra a continuación.



Fig.3: Sonda (Imagen obtenida del Laboratorio Área Combustibles CCP y Certificación de Productos, CESMEC S.A. Empresa BUREAU VERITAS. Concepción, Chile)

10. Determinaciones preliminares: Se determinó la presión, temperatura y la velocidad promedio de los gases del túnel. Se supone que el contenido de humedad de los gases del túnel de dilución corresponde a 4% para calcular la velocidad de flujo.

11. Inicio de la corrida del ensayo: Se le realizó al calefactor a Leña (L) una serie de pruebas de al menos cuatro (4) corridas de medición para propósitos de auditoría o de certificación.

Fueron una corrida de medición de emisiones en cada una de las siguientes categorías que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2: Categorías de velocidad de exposición de quemado del calefactor para la medición de emisiones

Categorías de velocidad de quemado (Promedio kg/h. (lb/(h)., base seca)			
Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4
< 0,80	0,80 a 1,25	1,25 a 1,9	Velocidad máxima de quemado
< 1,76	1,76 a 2,76	2,76 a 4,19	

Para la categoría 4, se operó con el calefactor con los controles de la admisión de suministro de aire primario totalmente abiertos

Para las velocidades de quemado de las categorías 1 hasta 3, se debió operar el calefactor a leña con el control de la admisión del suministro de aire u otro dispositivo de control mecánico, ajustado en una posición predeterminada necesaria para obtener la velocidad de quemado promedio requerida para la categoría.

A cada corrida se le registró datos acerca del peso de la leña combustible, las mediciones de la temperatura del catalizador y de la superficie individual del calefactor a leña, otros datos de operación del calefactor (por ejemplo, el tiraje), temperatura de la instalación donde se efectúa la prueba y datos sobre el método de muestreo a intervalos de 10 minutos.



Fig. 4: Válvula de la base de control que indica las diferentes temperaturas del ensayo (Imagen obtenida del Laboratorio Área Combustibles CCP y Certificación de Productos, CESMEC S.A. Empresa BUREAU VERITAS. Concepción, Chile)

Finalización de las corridas de ensayo: Se finalizó la prueba cuando la balanza indico un peso de carga del combustible de ensayo de 0,0 kg (0,0 lb) y este valor se mantuvo durante al menos durante 30 segundos. Al final de la corrida de ensayo se detuvo el muestreo de partículas, se registró el peso final de combustible, el tiempo de la corrida y todos los valores de medición finales.

12. Recuperación de muestras:

Recipiente 1:

Se retiró cuidadosamente el filtro del porta filtro primario y se colocó en un recipiente de caja Petri previamente rotulado. Se transfirió cuidadosamente a una caja Petri todo el material particulado y/o fibras de filtro que se adhieren a la empaquetadura del porta filtro y se selló el recipiente.

Recipiente 2:

Se retiró el filtro del segundo porta filtro, usando el mismo procedimiento descrito más arriba

Recipiente 3:

Se recuperó cuantitativamente el material particulado o cualquier condensado de la sonda o de los porta filtros, lavando y escobillando estos componentes con acetona, se juntó el lavado en un recipiente de vidrio marcado (Nº 3).



Fig. 5: Filtros recuperados posterior al ensayo (Imagen obtenida del Laboratorio Área Combustibles CCP y Certificación de Productos, CESMEC S.A. Empresa BUREAU VERITAS. Concepción, Chile)

13. Transporte de la muestra: Los recipientes se transportaron de tal manera que ellos permanecieron en posición vertical en todo momento

14. Cálculos: Se determinó la velocidad de quemado, utilizando la diferencia entre los pesos inicial y final de combustible (calefactor a leña)

Para la medición del material particulado en el artefacto a Pellet (P):

Los requisitos y procedimientos para el ensayo de certificación del calefactor que queman pellets de madera son idénticos a los de otros calefactores a leña, con las excepciones siguientes:

1. Volumen de la cámara de combustión del calefactor a Pellet (P):
Se identificaron las dimensiones de la cámara y otras especificaciones necesarias para identificar el calefactor para el propósito de certificación.
2. Instalación del calefactor: Se colocó el calefactor (P), con la tolva de suministro de combustible, en la balanza de plataforma.
3. Ignición previa a la prueba:
Se encendió el fuego en el calefactor según las instrucciones escritas del fabricante y se ajustaron los controles del calefactor (P) para alcanzar la velocidad de quemado deseada. Se operó el calefactor a la velocidad de quemado deseada durante 1 hora como mínimo antes del inicio de la corrida de mediciones.
4. Corrida de medición. Se debió completar una corrida de medición para cada categoría de velocidad de quemado del siguiente modo:
Inicio de la corrida de medición: Cuando el calefactor a Pellet (P) ha estado funcionando durante 1 hora como mínimo a la velocidad de quemado deseada, se agregó combustible al sistema de tolva de suministro, según fue necesario, para completar la corrida de medición y se inició la corrida de medición. No se agregó combustible adicional durante la corrida de medición. Se registraron todas las temperaturas superficiales del calefactor, los valores iniciales de mediciones del método de muestreo, el tiempo al inicio del ensayo y la hora en que comenzó el muestreo de emisiones. No se hicieron ajustes

en el suministro de aire del calefactor ni en la tasa de suministro de pellets durante la corrida de medición.

5. Registro de los datos: Se registraron los datos acerca del peso del combustible, temperaturas del calefactor y datos operacionales, y datos de muestreo de emisiones.

6. Término de la corrida de medición: Se continuó con el muestreo de emisiones y operación del calefactor durante 2 horas. Cuando finalizó la corrida de medición, se paró el muestreo de material particulado y se registró el peso final del combustible, tiempo de muestreo y todos los valores finales de las mediciones, incluyendo todas las temperaturas individuales de la superficie del calefactor. Nota: Lo anterior no será aplicable a los calefactores a pellets que operen con alimentación continua de combustible.

7. Recuperación de muestras:

Recipiente 1:

Se retiró cuidadosamente el filtro del porta filtro primario y se colocó en un recipiente de caja Petri previamente rotulado. Se transfirió cuidadosamente a una caja Petri todo el material particulado y/o fibras de filtro que se adhieren a la empaquetadura del porta filtro. Se selló el recipiente.

Recipiente 2:

Se retiró el filtro del segundo porta filtro, usando el mismo procedimiento descrito más arriba

Recipiente 3:

Se recuperó cuantitativamente el material particulado o cualquier condensado de la sonda o de los porta filtros, lavando y escobillando estos componentes con acetona, se juntó el lavado en un recipiente de vidrio marcado (Nº 3).

8. Transporte de la muestra: Los recipientes se transportaron en posición vertical en todo momento

9. Cálculos: Se determinó la velocidad de quemado, utilizando la diferencia entre los pesos inicial y final de combustible

4-3: Comparación de la emisión de material particulado de los artefactos de Leña y Pellet ya certificados

Para este tercer objetivo se realizó el seguimiento de los artefactos certificados a la fecha y una comparación de la emisión de material particulado entre calefactores a leña y calefactores a pellets, Por lo cual se hizo una recopilación de información bibliográfica (SEC).

- Se procedió a realizar un levantamiento de información entregada de manera online por la Superintendencia de Electricidad y Combustible, relacionada con los artefactos certificados a la fecha a leña y pellets.
- Posteriormente se buscó información acorde con la cantidad de emisión de material particulado de los calefactores a Leña y Pellets ya certificados hasta la fecha.
- Se hizo una comparación con la información recopilada entre el artefacto a Leña y Pellets, respecto a la emisión de material particulado.

4-4: Evaluación a la certificación de los calefactores a Leña y Pellet, en relación con la disminución de MP 2,5 emitida en el Gran Concepción

Para lograr el cuarto objetivo específico se evaluó la incorporación de la certificación de los calefactores a leña y pellets en Chile y si este produjo una disminución de la cantidad de MP 2,5 emitida en la región del Biobío, para lograr cumplir a cabalidad este objetivo se realizó lo siguiente:

- Se implementó una investigación teórica proveniente de una fuente confiable que entregó información relacionada con la cantidad emitida de MP 2,5 en un lugar ubicado en la región del Biobío, específicamente en ciudades ubicadas en la provincia de Concepción y la provincia del Biobío.
- Se eligieron 5 zonas de monitoreo de forma alternada ubicadas en la Estación Punteras, Chiguayante; Estación Liceo Polivalente, Tome; Estación Kingston College, Concepción; Estación 21 de Mayo, Los Ángeles y Estación Consultorio San Vicente, Talcahuano.
- Se hizo un estudio minucioso a cada estación de monitoreo que se seleccionó de la región del Biobío para recopilar los datos, ya que es importante que tengan características similares
- Se recopilaron los datos que entrega el Sistema Nacional de la Calidad del Aire (Sinca) sobre las emisiones de material particulado emitidos desde los años 2012-2018.
- Se analizaron los datos obtenidos y se crearon conclusiones respecto a las emisiones de MP 2,5 emitidos en ese periodo.

5. RESULTADOS

5-1 Resultados del seguimiento de la evolución y aplicación de las políticas ambientales chilenas instauradas para el control de emisión de MP 2,5 y la certificación de los artefactos a leña y pellets

Para realizar el objetivo 1 se hizo un seguimiento sobre la evolución y aplicación de las políticas ambientales relacionadas con el control de los calefactores a leña y pellets en Chile. Se recopiló información del Orden de la creación de las Normativas ambientales que están relacionadas con el control de las emisiones de material particulado y la certificación de los artefactos a leña y pellets, obteniendo los siguientes resultados:

Ley 19.300 (1994): *“Ley sobre bases generales del medio ambiente”*

Esta Ley hace responsable al estado de dictar normas de emisión y de calidad, que regulen la presencia de contaminantes para prevenir que estos puedan provocar un riesgo para la salud de las personas, la calidad de vida de la población, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental.

Artículo 1°. - *El derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental se regularán por las disposiciones de esta ley, sin perjuicio de lo que otras normas legales establezcan sobre la materia.*

Ley 20.417 (2010): Modifica la ley 19.300

Esta ley crea el Ministerio de Medio Ambiente, la Superintendencia del Medio Ambiente y el Servicio de Evaluación Ambiental.

Decreto 12 (2011): *Este decreto es relevante para el presente trabajo ya que establece la norma primaria de calidad ambiental para material particulado fino respirable MP2,5. El objetivo de este decreto es proteger la salud de las personas*

de los efectos agudos y crónicos de dicho contaminante, con un nivel de riesgo aceptable.

Uno de los artículos primordiales en este decreto son los números 3 y 5, que entregan límites de la norma de calidad primaria para MP2,5 en el aire.

Artículo 3º. *La norma primaria de calidad del aire para material particulado fino es veinte microgramos por metro cúbico (20 µg/m³), como concentración anual, y cincuenta microgramos por metro cúbico (50 µg/m³), como concentración de 24 horas.*

En la siguiente tabla se presentan los valores límites permitidos de MP2,5 de emisión anual y diaria de acuerdo al Decreto N° 12 implementado en Chile

Tabla 3: Valores límites de emisión de MP2,5 según el Decreto N°12

Clasificación de Material particulado	Promedio de emisión de MP2,5
MP2,5	20 µg/m³ media anual
MP2,5	50 µg/m³ media de 24 horas

Artículo 5º. *Defínase como niveles que originan situaciones de emergencia ambiental para material particulado respirable MP2,5 aquéllos en que la concentración de 24 horas se encuentre dentro de los rangos que da cuenta la siguiente tabla:*

A continuación, se presenta en la tabla 4 los valores de los límites de emergencia del MP2,5 para los niveles de alerta, preemergencia y emergencia

Tabla 4: Niveles de emergencia ambiental para MP2,5, según el decreto N°12 implementado en Chile

N.º	Nivel	Concentración 24 horas MP2,5 (µg/m³)
1	Alerta	80-109
2	Preemergencia	110-169
3	Emergencia	170 o superior

Ley 18.410 (1985): Crea la superintendencia de Electricidad y Combustibles

La Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) nace el 14 de diciembre del año 1904 bajo el mandato del presidente Germán Riesco, con el nombre de Inspección Técnica de Empresas y Servicios Eléctricos. Desde aquel entonces, y con el correr de los años, la SEC ha ido evolucionando en sus funciones hasta convertirse en la principal agencia pública responsable de supervigilar el mercado de la energía. 81 años después de su nacimiento, el 22 de mayo de 1985, es publicada en el Diario Oficial que crea la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, Institución que se relaciona con el Gobierno por intermedio del Ministerio de la Energía.

Ley 20586 (2012): Regula la certificación de los artefactos para combustión de leña y otros productos dendroenergéticos

Con esta ley se otorgaron facultades a esta Superintendencia (SEC) en el ámbito de artefactos que utilicen leña y otros productos dendroenergéticos, destacándose las siguientes:

- Autorizar y fiscalizar Organismos de Certificación y Laboratorios de Ensayo de artefactos que utilicen leña y otros productos dendroenergéticos.
- Fiscalizar que dichos artefactos, previo a su comercialización, se encuentren debidamente certificados en los aspectos de seguridad, eficiencia energética y emisiones de material particulado.

Decreto N°39 (2011): "Norma de Emisión de Material Particulado, para los Artefactos que combustionen o puedan combustionar Leña y derivados de la Madera"

Con este decreto se incorporan métodos de ensayos y norma aplicable para tal efecto, en materias de seguridad, eficiencia energética y emisiones de material particulado, además de la entrada en vigor de tal exigencia.

Decreto N°46 (2013): "Revisa Norma de Emisión de Material Particulado, para los Artefactos que combustionen o puedan combustionar Leña y Derivados de la Madera, contenida en el Decreto N°39, de 2011"

Este decreto establece que la entrada en vigor de tal exigencia para los calefactores a leña es a partir del 1° de octubre de 2014, y para los calefactores a pellets de madera, a partir del 1° de octubre de 2016, fechas en la cual dichos productos deberán contar con su certificación, para ser comercializados.

Método de análisis CH-28: *"Determinación de material particulado y certificación y auditoría de calefactores a leña"*

Método de análisis CH-5G: *"Determinación de las emisiones de partícula de calefactores a leña medidas desde un túnel de dilución"*.

Protocolos de Análisis y/o Ensayos encontrados que se ejecutan para la certificación de calefactores a Pellets y Leña en el país:

- PC-201 (2014): Protocolo de Análisis y/o Ensayos de Seguridad de Calefactores a Pellets de Madera, de una potencia menor o igual a 25 kW
- PC-201/1 (2014): Protocolo de Análisis y/o Ensayos de Eficiencia Energética de Calefactores a Pellets de Madera, de una potencia menor o igual a 25 kW
- PC-201/2 (2014): Protocolo de Análisis y/o Ensayos de Emisiones de Material Particulado de Calefactores a Pellets de Madera, de una potencia menor o igual a 25 kW
- PC-200 (2015): Protocolo de Análisis y/o Ensayos de Seguridad de Productos de Leña y otros dendroenergéticos
- PC-200/1 (2015): Protocolo de Análisis y/o Ensayos de Eficiencia Energética de Productos de Leña y otros dendroenergéticos
- PC-200/2 (2015): Protocolo de Análisis y/o Ensayos de Emisiones de Material Particulado de Productos de Leña y otros dendroenergéticos
- PC-201 (2016): Este protocolo es la actualización del elaborado el año 2014 de Análisis y/o Ensayos de Seguridad de Calefactores a Pellets de Madera, de una potencia menor o igual a 25 kW.

Los resultados mostraron que a lo largo de los años ha evolucionado de manera positiva las normativas ambientales relacionadas al control y manejo de la comercialización de calefactores a leña y pellets. Ya pasaron más de 35 años desde que se puso en vigencia la primera Ley relacionada al control y manejo de combustibles fósiles. Esta es la Ley 18410, que crea la superintendencia de Electricidad y Combustible en el año 1985. En este último tiempo han puesto a regir diferentes Normas, decretos, resoluciones, leyes, etc. Pero se observa que es en el año 2014 cuando se toman medidas estructurales al poner en vigencia el decreto N°39 (2011) que implementa estándares de emisiones, seguridad y eficiencia energética a los calefactores a Leña nuevos y que desde el 1 de octubre del año 2014 que no se puede comercializar sin que tenga la Certificación previa. Al comparar esta medida con las que regían años anteriores, se observa que antes no

existía una norma de certificación previa a la venta tan completa como la entrada en vigor del decreto N°39 y decreto N°46.

5-2 Resultados de la aplicación de los métodos para cuantificar las emisiones de material particulado de un calefactor a leña y pellet durante su proceso de certificación

Medición de material particulado en artefactos a Leña modelo L, aplicando el método CH-5G para toma de muestras y análisis respectivos y el método CH-28

Para realizar este ensayo se utilizó como muestra madera de eucalipto *globulus*, que fue secada al aire, cuya humedad fue de 14%, adquirida de una sala con la humedad y temperatura controlada. (método CH-28 6.1).

Para la medición del material particulado en artefacto a Pellet modelo L, se utilizó una muestra cuyas características se presentan en tabla 5

Tabla 5: Características de la muestra de Leña utilizada en la corrida de medición de emisiones

Clase	Eucaliptus globulus
Humedad (%)	17
Temperatura (°C)	20
Dimensiones (pulgadas)	2x4

En la siguiente figura se muestra la distribución correcta en el calefacte para realizar el ensayo.

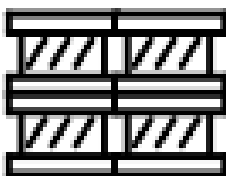


Figura 1: Disposición de la leña para test de combustión

Posteriormente se realizó la caracterización del artefacto a leña a estudiar y las categorías a utilizar en la corrida de medición, resultando la información mostrada en la siguiente tabla:

Tabla 6: Caracterización general del artefacto a leña (L) previo a la realización del ensayo.

Categoría:	Mínima (1)	Mínima (2)	Media	Máxima
Tipo de estufa:	Leña	Leña	Leña	Leña
Marca:	L	L	L	L
Fecha ingreso:	XX-XX-XX	XX-XX-XX	XX-XX-XX	XX-XX-XX
N° de Filtro 1:	9	11	13	15
N° de Filtro 2:	10	12	14	16

Verificación del yc:

Para la verificación del yc (que es el índice de calibración, para ver si la unidad de control está apta para hacer el ensayo), se registraron las mediciones de temperaturas a distintos tiempos (ver tabla 7), y así corroborar si la base de control está en óptimas condiciones para realizar el ensayo

Tabla 7: Registros medidos de temperaturas a distintos tiempos para la obtención del yc

Categoría:	Mínima (1)		Mínima (2)		Media		Máxima	
Tiempo (Minutos)	Temp. In (°C)	Temp. Out (°C)	Temp. In (°C)	Temp. Out (°C)	Temp. In (°C)	Temp. Out (°C)	Temp. In (°C)	Temp. Out (°C)
2	11	10	11	10	22	20	25	24
4	11	10	11	10	22	20	25	24
6	11	10	11	10	22	21	25	24
8	12	10	12	10	24	21	26	25
10	12	10	12	10	25	21	26	25

Medición de Velocidad promedio:

Durante el periodo de ignición previo al muestreo se realizó la travesía de velocidad para identificar el punto de la velocidad promedio. En tabla 8 se muestran los datos necesarios para obtener el punto de la velocidad promedio.

Tabla 8: Valores registrados del artefacto a leña (L) en sus 4 categorías, medidos en la base de control

Categoría:	Mínima (1)			Mínima (2)			Media			Máxima		
Puntos	Δp	pg	Temp. Stack (°C)	Δp	pg	Temp. Stack (°C)	Δp	pg	Temp. Stack (°C)	Δp	pg	Temp. Stack (°C)
1	1,5	9	70	1,5	9,0	39	1,5	8,5	57	1,5	9,5	48
2	1,5	9	65	1,5	9,0	39	1,5	8,5	58	1,5	9,5	48
3	1,5	9	64	1,5	9,0	39	1,5	8,5	58	1,5	9,5	48
4	1,5	9	63	1,5	9,0	40	1,5	9,0	58	1,5	9,5	47
5	1,5	9	63	1,5	9,0	40	1,5	9,0	58	1,5	9,5	47

Traversas de velocidad:

Eje 1:

Para obtener la velocidad promedio se realizaron las corridas de mediciones específicamente en el Eje 1, en tabla 9 se muestran los datos correspondientes.

Tabla 9: Valores recopilados en las corridas de mediciones durante el Pre-ensayo específicamente en el eje 1.

	Eje 1			Eje 1			Eje 1			Eje 1		
Categoría	Mínima (1)			Mínima (2)			Media			Máxima		
Puntos	Δp	Pg	Temp. Stack (°C)	Δp	Pg	Temp. Stack (°C)	Δp	Pg	Temp. Stack (°C)	Δp	Pg	Temp. Stack (°C)
1	1,5	9,0	66	1,5	9,0	39	1,5	8,5	58	1,5	9,5	47
2	1,5	9,0	67	1,5	9,0	39	1,5	8,5	58	1,5	9,5	47
3	1,5	9,0	67	1,5	9,0	38	1,5	9,0	58	1,5	9,5	47
4	1,5	9,0	64	1,5	9,0	38	1,5	9,0	57	1,5	9,5	48

Eje 2:

Para obtener la velocidad promedio se realizaron las corridas de mediciones específicamente en el Eje 2, en tabla 10 se muestran los datos correspondientes.

Tabla 10: Valores recopilados en las corridas de mediciones durante el Pre-ensayo específicamente en el Eje 2.

	Eje 2			Eje 2			Eje 2			Eje 2		
Categoría	Mínima (1)			Mínima (2)			Media			Máxima		
Puntos	Δp	Pg	Temp. Stack (°C)	Δp	Pg	Temp. Stack (°C)	Δp	Pg	Temp. Stack (°C)	Δp	Pg	Temp. Stack (°C)
1	1,5	9,0	63	1,5	9,0	39	1,5	8,5	57	1,5	9,5	48
2	1,5	9,0	55	1,5	9,0	39	1,5	8,5	57	1,5	9,5	48
3	1,5	9,0	54	1,5	9,0	38	1,5	9,0	58	1,5	9,5	47
4	1,5	9,0	55	1,5	9,0	38	1,5	9,0	58	1,5	9,5	47

Inicio de la corrida del ensayo y cálculos:

Los valores obtenidos se analizaron y además se realizó el cálculo de la cantidad de material particulado retenido en el porta filtro, luego de realizar el ensayo se obtuvo como resultado final 2,9 (g/h) de emisión de material particulado proveniente del ensayo al artefacto (L). Lo que indica que cumple con lo establecido en el protocolo de análisis y/o ensayos de Emisiones de Material particulado de productos de leña (PC-200/2). Pero para lograr la certificación tiene que cumplir lo establecido en los protocolos de Seguridad (PC-200) y el protocolo de Eficiencia Energética (PC-200/1). Posterior a corroborar que el artefacto expuesto a ensayos cumple con los protocolos establecidos, se puede lograr la aprobación en su certificación.

Medición de material particulado en artefacto a Pellet modelo P:

Para la medición del material particulado en artefacto a Pellet modelo P, se utilizó una muestra cuyas características se presentan en tabla 11

Tabla 11: Características de la muestra de pellet utilizada en la corrida de medición de emisiones:

Clase	Pellet
Humedad (%)	18
Temperatura (°C)	20

Posteriormente se le realizó la caracterización del artefacto a Pellet modelo P (ver tabla 12) y las categorías a utilizar en la corrida de medición, obteniendo los resultados siguientes:

Tabla 12: Caracterización general del artefacto a pellet (P) previo a la realización del ensayo.

Potencia	1	2	3	5
Tipo de estufa:	Pellet	Pellet	Pellet	Pellet
Marca:	P	P	P	P
Fecha ingreso:	XX-XX-XX	XX-XX-XX	XX-XX-XX	XX-XX-XX
N° de Filtro 1:	9	11	13	15
N° de Filtro 2:	10	12	14	16

Verificación del yc:

Se realizó el registro de las mediciones para la obtención del yc, los que se muestran en la siguiente tabla (Ver tabla 13), para así corroborar si la base de control está en óptimas condiciones para realizar el ensayo.

Tabla 13: Registros medidos para la obtención del yc

Potencia	1		2		3		5	
Tiempo (Minutos)	Temp. In (°C)	Temp. Out (°C)	Temp. In (°C)	Temp. Out (°C)	Temp. In (°C)	Temp. Out (°C)	Temp. In (°C)	Temp. Out (°C)
2	31	29	28	28	26	23	17	16
4	31	29	28	28	26	24	17	16
6	32	30	29	28	27	25	17	16
8	32	30	29	29	27	25	18	17
10	32	30	30	29	28	24	18	17

Medición de Velocidad promedio:

Previo al muestreo se realizó la travesa de velocidad para identificar el punto de la velocidad promedio, el registro de valores se indican en tabla 14

Tabla 14: Valores registrados del artefacto a Pellet (P) en sus 4 Potencias, medidos en la base de control, de la cual se obtuvieron los datos necesarios para obtener el punto de la velocidad promedio.

Potencia	1			2			3			5		
Puntos	Δp	Pg	Temp. Stack (°C)	Δp	Pg	Temp. Stack (°C)	Δp	Pg	Temp. Stack (°C)	Δp	Pg	Temp. Stack (°C)
1	1,5	11,5	31	1,5	12,5	29	1,5	12	26	1,5	12,5	26
2	1,5	11,5	31	1,5	12,5	29	1,5	12	26	1,5	12,5	26
3	1,5	11,5	31	1,5	12,5	29	1,5	12	26	1,5	12,5	26
4	1,5	11,5	31	1,5	12,5	29	1,5	12	26	1,5	12,5	27
5	1,5	11,5	31	1,5	12,5	29	1,5	12	26	1,5	12,5	26

Traversas de velocidad:

Eje 1:

Para la obtención de la velocidad promedio, se realizaron corridas de mediciones durante el Pre-ensayo estos realizado específicamente en el Eje 1, en tabla 15 se muestran los valores registrados

Tabla 15: Valores recopilados en las corridas de mediciones durante el Pre-ensayo realizados específicamente en el Eje 1

Potencia	Eje 1			Eje 1			Eje 1			Eje 1		
	1			2			3			5		
Puntos	Δp	Pg	Temp. Stack (°C)	Δp	Pg	Temp. Stack (°C)	Δp	Pg	Temp. Stack (°C)	Δp	Pg	Temp. Stack (°C)
1	1,5	11,5	32	1,5	12,5	30	1,5	27	14,0	1,5	12,5	28
2	1,5	11,5	32	1,5	12,5	30	1,5	28	14,0	1,5	12,5	28
3	1,5	11,5	32	1,5	12,5	30	1,5	28	14,0	1,5	12,5	28
4	1,5	11,5	31	1,5	12,5	29	1,5	27	14,0	1,5	12,5	28

Eje 2:

Para la obtención de la velocidad promedio, se realizaron corridas de mediciones durante el Pre-ensayo estos realizado específicamente en el Eje 2, en tabla 16 se muestran los valores registrados

Tabla 16: Valores recopilados en las corridas de mediciones durante el Pre-ensayo estos realizado específicamente en el Eje 2

Potencia	Eje 2			Eje 2			Eje 2			Eje 2		
	1			2			3			5		
Puntos	Δp	Pg	Temp. Stack (°C)	Δp	Pg	Temp. Stack (°C)	Δp	Pg	Temp. Stack (°C)	Δp	Pg	Temp. Stack (°C)
1	1,5	11,5	32	1,5	12,5	30	1,5	27	14,0	1,5	12,5	28
2	1,5	11,5	32	1,5	12,5	30	1,5	27	14,0	1,5	12,5	28
3	1,5	11,5	32	1,5	12,5	29	1,5	27	14,0	1,5	12,5	28
4	1,5	11,5	31	1,5	12,5	30	1,5	27	14,0	1,5	12,5	28

Inicio de la corrida del ensayo y cálculos del artefacto (P):

∴ Los valores obtenidos anteriormente se analizaron y se realizó el cálculo de la cantidad de material particulado retenido en el porta filtro, se obtuvo como resultado final 1,6 (g/h) de emisión de material particulado proveniente del ensayo al artefacto a Pellets (P). Lo que indica que cumple con lo establecido en el protocolo de análisis

y/o ensayos de Emisiones de Material particulado de calefactores a Pellets con potencia menor o igual a 25kW (PC-201/2). Para lograr la certificación tiene que cumplir lo establecido en los protocolos de Seguridad para calefactores a Pellets con potencia menor o igual a 25kW (PC-201) y el protocolo de Eficiencia Energética para calefactores a Pellets con potencia menor o igual a 25kW (PC-201/1). Posterior a corroborar que el artefacto expuesto a ensayos cumple con los protocolos establecidos, se puede lograr la aprobación en su certificación.

Se observó que al comparar los calefactores a Leña y Pellets en cuanto a las emisiones de material particulado que se obtuvieron en este ensayo. Se puede identificar que las emisiones de material particulado fueron menores en los artefactos a pellets (1,6 g/h) y mayor en el de Leña (2,9g/h). Los 2 cumplen con el protocolo establecido sobre emisión de MP (protocolo artefacto a leña PC-200/2 y protocolo artefacto a Pellets PC-201/2).

5-3. Resultados al seguimiento y comparación de la emisión de material particulado de los calefactores a leña y pellets certificados a la fecha

Se realizó un seguimiento de los artefactos certificados a la fecha y una comparación de la emisión de material particulado entre calefactores a leña y calefactores a pellets.

Para ello se recopiló información extraída de la página web de SEC (Superintendencia de Electricidad y Combustible). De esta página se obtuvieron los datos necesarios para realizar la comparación de la emisión de material particulado entre calefactores a Leña y Pellets ya certificados.

Con respecto a los resultados obtenidos de las emisiones de material particulado de calefactores a Leña certificados a la fecha. Se obtuvo el siguiente gráfico.

I) Artefactos a leña certificados y publicados en SEC:

Las emisiones de material particulado de los calefactores a leña certificados en el país, se presentan en el gráfico mostrados en la figura 2.

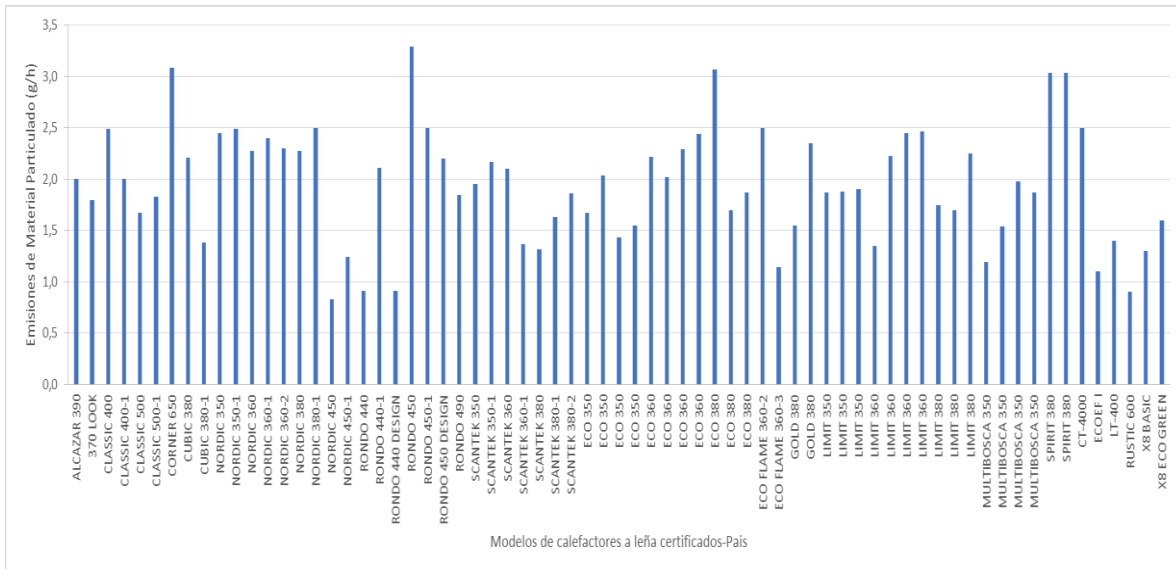


Figura 2: Emisiones de material particulado de los calefactores a leña certificados en el país.

Se constataron diferentes calidades en los calefactores a Leña, variando desde los calefactores que sobrepasan los 3 g/h a aquellos que no superan 1 g/h de Material particulado, siendo éstos últimos los calefactores más recomendables por tener menos emisión de sustancias a la atmósfera. Por lo tanto, se observa bastante dispersión entre los calefactores a leña certificados hasta la fecha. Sin embargo, los valores de estos modelos de calefactores a leña no representan la cantidad de emisión de material particulado en los domicilios, ya que la leña utilizada en el proceso de certificación es una leña que cumple con los requisitos pedidos por la norma, mientras que la leña utilizada en los domicilios no tiene un control y, en muchos casos, puede no estar certificada. Por lo tanto, los niveles de emisión de material particulado podrían variar significativamente

II) Artefactos a Pellets certificados y publicados en SEC:

Las emisiones de material particulado de los calefactores a pellet certificados en el país, se presentan en el gráfico mostrados en la figura 3.

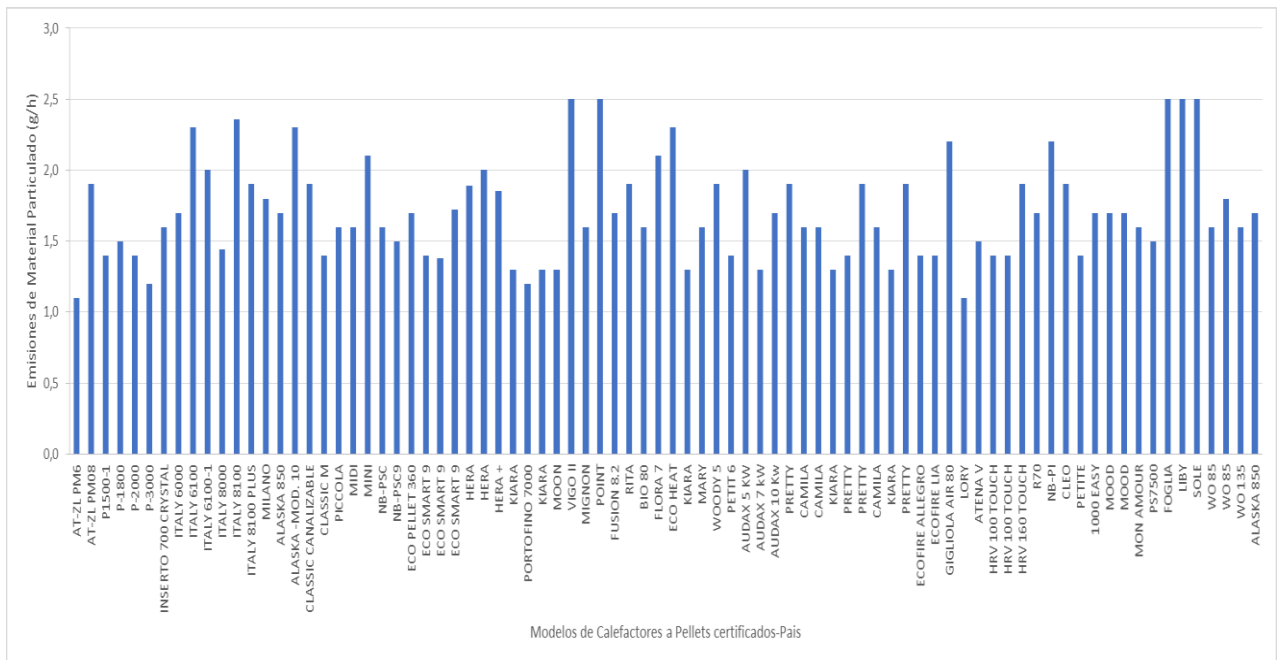


Figura 3: Emisiones de material particulado de los calefactores a Pellets certificados en el país.

En los modelos de calefactores a Pellet certificados en el país, se observa claramente una tasa de emisión homogénea, no existe tanta distinción entre un modelo de calefactor u otro. Estos varían entre los 1,1 a 2,5 (g/h) de material particulado cumpliendo la norma. Ya que el pellet utilizado en el proceso de certificación está certificado. Sin embargo, los valores de estos artefactos a pellet no representan la cantidad de emisión de Material Particulado en los domicilios. Ya que el pellet a nivel nacional no tiene una certificación obligatoria, es voluntaria. Por lo tanto, los niveles de emisión de MP podrían variar significativamente si no se respetan las condiciones de operación y el uso de pellet de calidad.

5-4. Resultados relacionados a la incorporación de la certificación de los calefactores a leña y pellets en la disminución de la emisión de MP 2,5 en la región del Biobío

Se recopiló y analizó la información entregada por SINCA, que es el Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire del Ministerio del Medio Ambiente.

Se realizó un análisis de los datos entregados por SINCA sobre la emisión de MP2,5 desde 01-01-2012 hasta 31-12-2018 en 5 estaciones de monitoreo de la Región del Biobío.

5.4.1 Estaciones de monitoreo:

Las estaciones de monitoreo que se eligieron fueron 5 y estas fueron seleccionadas según su ubicación las que estuvieran alejadas de áreas industrializadas y de preferencia los lugares que fueran mayormente residenciales, Seleccionando las siguientes:

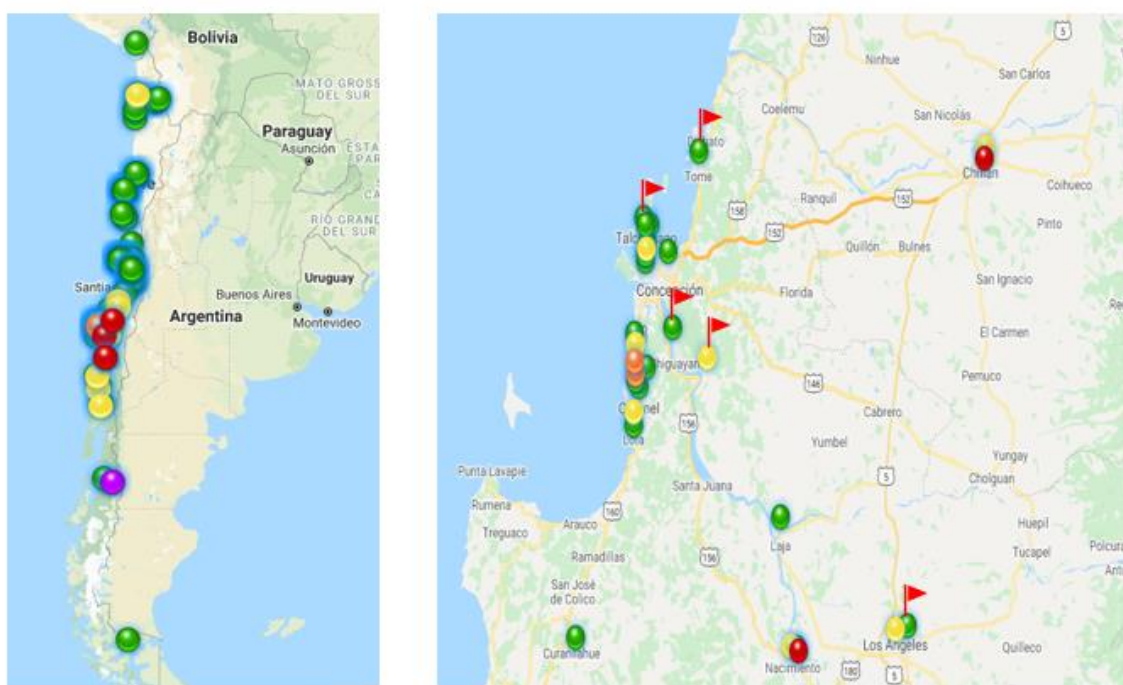


Figura 4: Estaciones de monitoreo seleccionadas (imagen obtenida de <https://sinca.mma.gob.cl/index.php/>). En la imagen del lado izquierdo se muestra todas las estaciones de monitoreo a nivel nacional y la imagen del lado derecho se

observan las 5 estaciones de monitoreo seleccionadas (banderín rojo), de la región del Biobío

Se recopiló información general de las 5 estaciones, como Población, cantidad de habitantes y economía. En la tabla 17 muestra de manera de resumen la información obtenida

Tabla 17: Información general de las 5 estaciones seleccionadas

Nº	Estación	Ciudad	Población (Total)	Empresas registradas (2018)	Economía
1	Kingston College	Concepción	263 574 hab. (2017)	13.128	Reparación de Transmisores de Radio y TV, Aparatos para Telefonía y Telegrafía con Hilos (29,58), Cultivos Hidropónicos y Hortalizas en Invernaderos (29,45) y Cría de Aves de Corral para Producción de Huevos (19,57).
2	Liceo Polivalente	Tomé	54 946 hab. (2017)	588	Fabricación de Artículos de Materias Textiles, excepto Prendas de Vestir (142,04), Pesca Industrial (138,59) y Venta al por Menor de Lanas, Hilos y Similares (65,0).
3	Consultorio San Vicente	Talcahuano	158 345 hab. (2020)	2.619	Fabricación de Recipientes de Gas Comprimido o Licuado (146,21), Servicios Relacionados con la Pesca, excepto Servicios Profesionales (67,11) y Alquiler de Transporte por Vía Acuática (53,76).
4	Punteras	Chiguayante	86 000 hab. (2017)	1.474	Suministro de Vapor y Agua Caliente (55,01), Fabricación de Maquinaria de Oficina y Contabilidad (47,4) y Escuelas para Deportes (39,12).
5	21 de mayo	Los Ángeles	202 331 hab. (2017)	5.995	actividades económicas con mayor índice de Ventaja Comparativa Revelada (RCA) fueron el cultivo de remolacha (97,8), servicio de corte y enfiado de forraje (49,59) y fabricación de recipientes de madera (25,7).

5.4.2 Resultados obtenidos por cada estación de monitoreo:

Estación Kingston College, Concepción:

Se muestra en figura 5 la estación Kingston College de la ciudad de Concepción con su respectiva información general de esta estación



Información general	
Propietario	Sub Secretaría del Medio Ambiente
Operador	Sub Secretaria del Medio Ambiente
Región	del Biobío
Provincia	Concepción
Comuna	Concepción
Coordenadas UTM	673817 E 5927247 N
Huso horario	18
Recepción de datos	en línea
Inicio de operación reportada	2009-01-01

Figura 5: Estación de monitoreo Kingston College con la información general de esta estación (imagen obtenida de <https://sinca.mma.gob.cl/index.php/estacion/index/key/827>).

Se muestra en figura 6 los datos obtenidos de emisión de MP2,5, durante las estaciones Otoño-Invierno (Años 2012-2018) para la estación Kingston College de la ciudad de Concepción. Se puede observar que en la estación Kingston College de la ciudad de Concepción, los niveles de emisión de MP2,5 son mayores en los meses de mayo y junio, por lo contrario, en los meses de agosto y septiembre se observa una tendencia a disminuir los valores de emisión. El mes de mayo presentó el valor más alto ($100\mu\text{g}/\text{m}^3$) en emisión de MP2,5, superando 5 veces el valor límite anual de la norma primaria para MP2,5 ($20\mu\text{g}/\text{m}^3$) y 10 veces el valor límite ideal de emisión entregado por la Organización mundial de la Salud ($10\mu\text{g}/\text{m}^3$). Se superó en la mayoría de los años el valor de los límites de la norma primaria anual para

MP2,5 ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Se encontró una leve tendencia a disminuir los niveles de emisión de MP2,5 durante los periodos Otoño-Invierno Post certificación a las estufas a leña (Año 2014) y certificación estufas a Pellet (Año 2016).

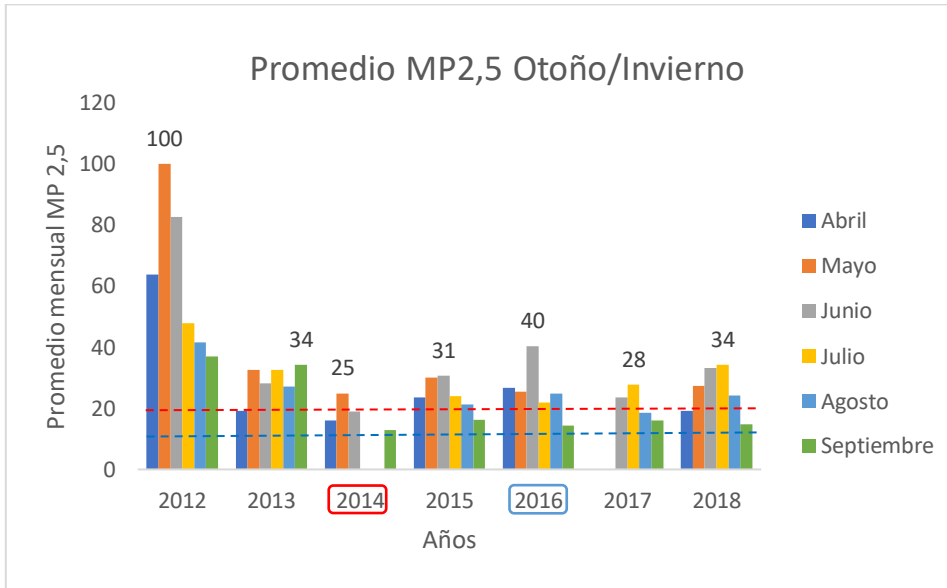


Figura 6: Promedios de emisión de MP2,5 durante las estaciones otoño-invierno de la estación de monitoreo Kingston College de la ciudad de Concepción entre los años 2012 y 2018.

Se destaca con rojo el año 2014 en el que se da comienzo a la certificación de los calefactores a leña y con celeste el año 2016 en el que inicia la certificación de los calefactores a pellets. La línea de trazos color rojo (---) indica el valor del límite de la norma primaria anual para MP2,5 ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y la línea de trazos color azul (---) indica el valor límite de emisión de MP2,5 recomendado según la OMS ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

En figura 7 se muestra los promedios de los datos de emisión de MP2,5 obtenidos durante los años 2012-2018. Se puede observar que el promedio máximo de emisión de MP2,5 fue $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el año 2012 superando el valor límite de la norma primaria anual para MP2,5 ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En cuanto a la respuesta ante la certificación de los calefactores a leña (Año 2014), no existe una tendencia notoria a disminuir los

niveles de emisión post certificación. Pero después de la certificación de las estufas a Pellets (Año 2016), se observa que en los años posteriores los promedios anuales de emisión de MP2,5 cumplen con el valor límite de la norma chilena ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En todos los años (2012-2018) superan el valor anual límite de emisión de MP2,5 permitido por la organización mundial de la Salud ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

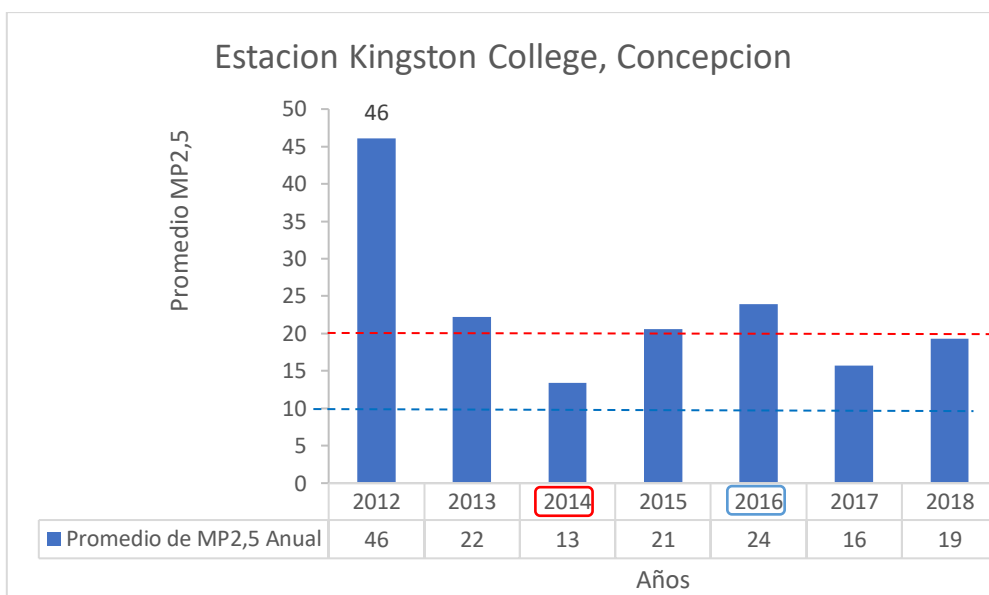


Figura 7: Promedios de emisión de MP2,5 anual entre los años 2012 y 2018 de la estación de monitoreo Kingston College de la ciudad de Concepción.

Se destaca con rojo el año 2014 en el que se da comienzo a la certificación de los calefactores a leña y con celeste el año 2016 en el que inicia la certificación de los calefactores a pellets. La línea de trazos color rojo (---) indica el valor del límite de la norma primaria anual para MP2,5 ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y la línea de trazos color azul (---) indica el valor límite de emisión de MP2,5 recomendado según la OMS ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Estación Liceo Polivalente, Tomé:

Se muestra en figura 8 la estación de monitoreo del Liceo Polivalente de la comuna de Tomé con su respectiva información general de esta estación



Figura 8: Estación de monitoreo Liceo Polivalente ubicada en la ciudad de Tomé con la información general de esta estación (imagen obtenida de <https://sinca.mma.gob.cl/index.php/estacion/index/key/830>).

En figura 9 se presenta los datos de emisión de MP2,5 obtenidos durante las estaciones de otoño-Invierno (años 2012-2018). Se encontró que los niveles de emisión de MP2,5 son mayores entre los meses de mayo, junio y julio, por lo contrario, en los meses de Abril y septiembre se observa una tendencia a disminuir los valores de emisión de MP2,5. El mes de Julio del año 2018 presentó el valor más alto ($37\mu\text{g}/\text{m}^3$) en emisión casi el doble del valor límite anual de la norma primaria para emisión de MP2,5 ($20\mu\text{g}/\text{m}^3$) y casi 4 veces más el valor límite ideal de emisión entregado por la Organización mundial de la Salud ($10\mu\text{g}/\text{m}^3$). En la mayoría de los meses se superó el valor de los límites de la norma primaria anual para MP2,5 ($20\mu\text{g}/\text{m}^3$) y no se encontró un efecto significativo de la implementación

de la certificación de las estufas a leña (2014) y pellets (2016) en la disminución de las emisiones de MP 2,5 en la estación liceo polivalente de Tomé.

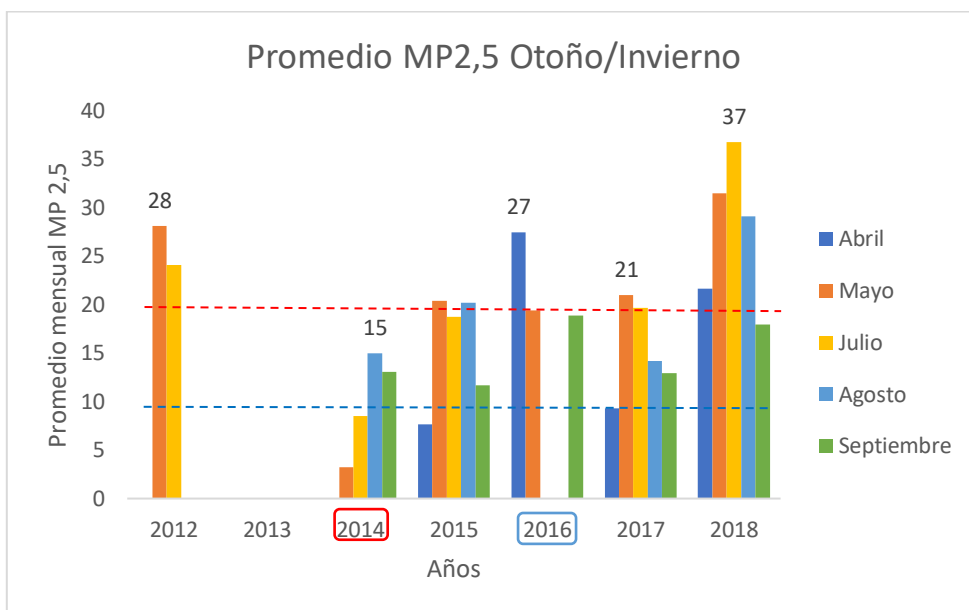


Figura 9: Promedios de emisión de MP2,5 durante las estaciones otoño-invierno de la estación de monitoreo Liceo Polivalente de la ciudad de Tomé entre los años 2012 y 2018.

Se destaca con rojo el año 2014 en el que se da comienzo a la certificación de los calefactores a leña y con celeste el año 2016 en el que inicia la certificación de los calefactores a pellets. La línea de trazos color rojo (---) indica el valor del límite de la norma primaria anual para MP2,5 ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y la línea de trazos color azul (---) indica el valor límite de emisión de MP2,5 recomendado según la OMS ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

En figura 10 se presenta los datos promedios de emisión de MP2,5 obtenidos durante los años 2012-2018. Se observa en figura 10, que el promedio máximo de emisión de MP2,5 se registró en el año 2018 ($20\mu\text{g}/\text{m}^3$) siendo igual al valor límite de la norma primaria anual para MP2,5 ($20\mu\text{g}/\text{m}^3$). En cuanto a la respuesta ante la certificación de los calefactores a leña (Año 2014) y calefactores a Pellets (2016) no existe una disminución en la cantidad de emisión de MP2,5, todo lo contrario, se identifica el valor más alto de emisión en los años posteriores al comienzo de la certificación de los 2 artefactos. En ningún año se supera el valor límite de la norma primaria anual para emisión de MP2,5 ($20\mu\text{g}/\text{m}^3$), pero si se supera los límites de emisión permitidos por la organización mundial de la Salud ($10\mu\text{g}/\text{m}^3$). También se observa que según los datos obtenidos en Sinca los datos anuales de los años 2012 y 2013 no fueron registrados ya que no cumplen lo establecido en el decreto N°12, que se considera como valor de concentración anual, aquel determinado a partir de promedios mensuales medidos durante a lo menos 11 meses del año calendario, por lo cual estos años no fueron registrados en el presente gráfico.

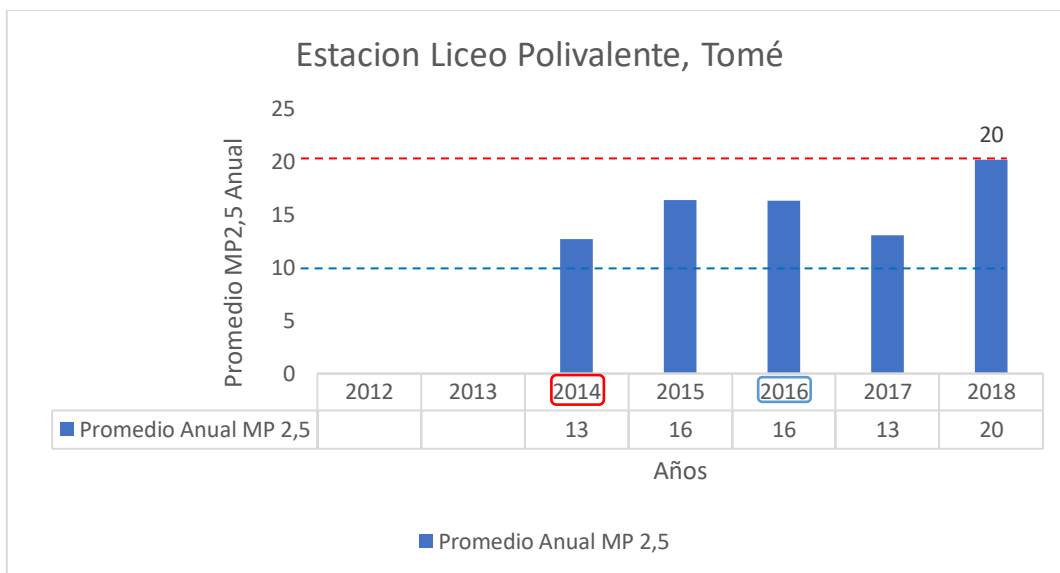


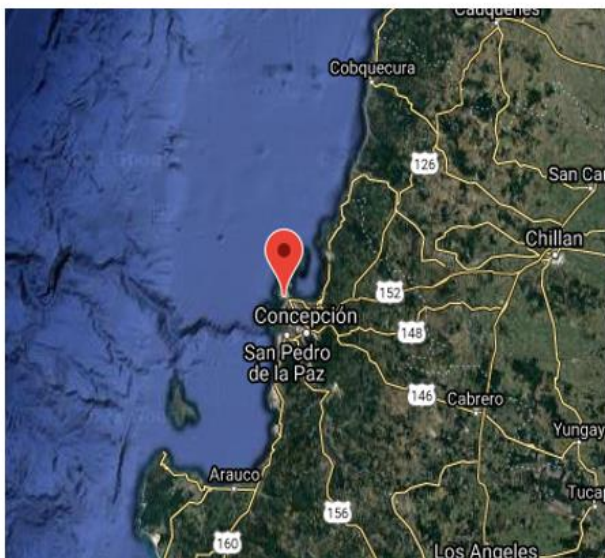
Figura 10: Promedios de emisión de MP2,5 anual entre los años 2012 y 2018 de la estación de monitoreo Liceo Polivalente de la ciudad de Tomé.

Se destaca con rojo el año 2014 en el que se da comienzo a la certificación de los calefactores a leña y con celeste el año 2016 en el que inicia la certificación de los calefactores a pellets. La línea de trazos color rojo (---) indica el valor del límite de la

norma primaria anual para MP2,5 ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y la línea de trazos color azul (---) indica el valor límite de emisión de MP2,5 recomendado según la OMS ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Estación consultorio San Vicente, Talcahuano:

Se muestra en figura 11 la estación de monitoreo del consultorio San Vicente de la comuna de Talcahuano con su respectiva información general de esta estación



Información general	
Propietario	Sub Secretaría del Medio Ambiente
Operador	Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA
Región	del Biobío
Provincia	Concepción
Comuna	Talcahuano
Coordenadas UTM	667557 E 5934138 N
Huso horario	18
Recepción de datos	en línea
Inicio de operación reportada	2009-01-01

Figura 11: Estación de monitoreo consultorio San Vicente ubicada en la ciudad de Talcahuano, con la información general de esta estación (imagen obtenida de <https://sinca.mma.gob.cl/index.php/estacion/index/key/802>).

En figura 12 se muestra los datos de emisión de MP2,5 durante las estaciones Otoño-Invierno (años 2012-2018) correspondiente al consultorio San Vicente - Talcahuano. Se observa que los niveles de emisión de MP2,5 son mayores entre los meses de mayo y julio, por lo contrario, en los meses de abril y septiembre se observa una tendencia a disminuir los valores de emisión. El mes de Julio presentó el valor más alto ($52\mu\text{g}/\text{m}^3$) en emisión de MP2,5 en los años 2012 y 2018, superando casi de manera triple el valor límite anual de la norma primaria para MP2,5 ($20\mu\text{g}/\text{m}^3$) y 5 veces el valor límite ideal de emisión entregado por la Organización mundial de la Salud ($10\mu\text{g}/\text{m}^3$). Se superó notoriamente en la mayoría de los años el valor de los límites de la norma primaria anual para MP2,5 ($20\mu\text{g}/\text{m}^3$). No se encontró una tendencia notoria a la disminución de los niveles de emisión de MP2,5 durante los

periodos Otoño-Invierno Post certificación estufas a leña (Año 2014) y certificación estufas a Pellet (Año 2016).

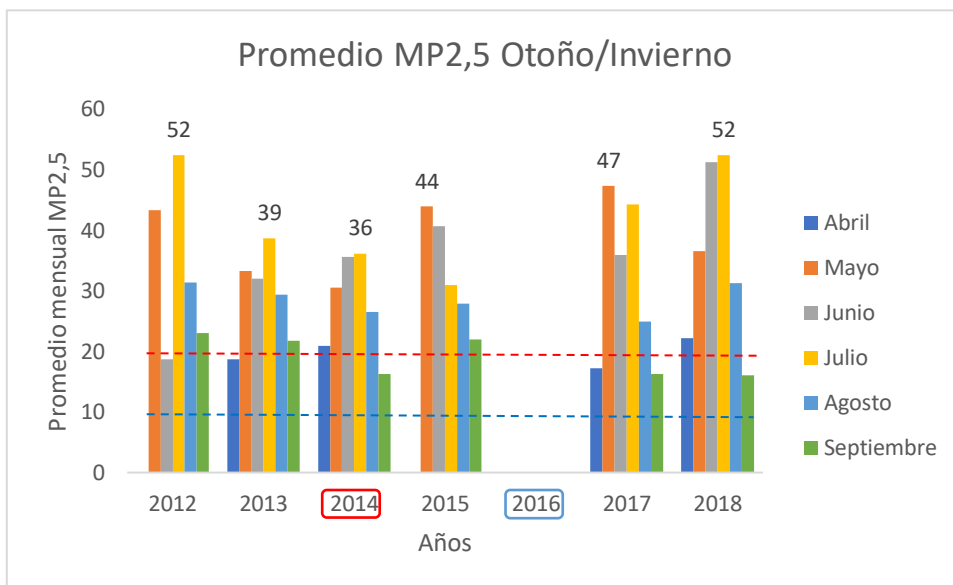


Figura 12: Promedios de emisión de MP2,5 durante las estaciones otoño-invierno de la estación de monitoreo consultorio San Vicente de la ciudad de Talcahuano entre los años 2012 y 2018.

Se destaca con rojo el año 2014 en el que se da comienzo a la certificación de los calefactores a leña y con celeste el año 2016 en el que inicia la certificación de los calefactores a pellets. La línea de trazos color rojo (---) indica el valor del límite de la norma primaria anual para MP2,5 (20 µg/m³) y la línea de trazos color azul (---) indica el valor límite de emisión de MP2,5 recomendado según la OMS (10 µg/m³).

Datos obtenidos de emisión de MP2,5, durante los Años 2012-2018:

Se observa en figura 13 los valores promedio de MP2,5 durante los años 2012-2018, para la estación del consultorio San Vicente. Se obtuvo que el promedio máximo de emisión de MP2,5, se registraron en los años 2012, 2015 y 2018 ($25\mu\text{g}/\text{m}^3$) superando el valor límite de la norma primaria anual para MP2,5 ($20\mu\text{g}/\text{m}^3$). En relación con la respuesta ante la certificación de los calefactores a leña (Año 2014) y calefactores a Pellets (2016) no existe una disminución en la cantidad de emisión de MP2,5. En todos los años (2012-2018) superan el valor límite de la norma primaria anual para emisión de MP2,5 ($20\mu\text{g}/\text{m}^3$) y también los límites de emisión permitidos por la organización mundial de la Salud ($10\mu\text{g}/\text{m}^3$).

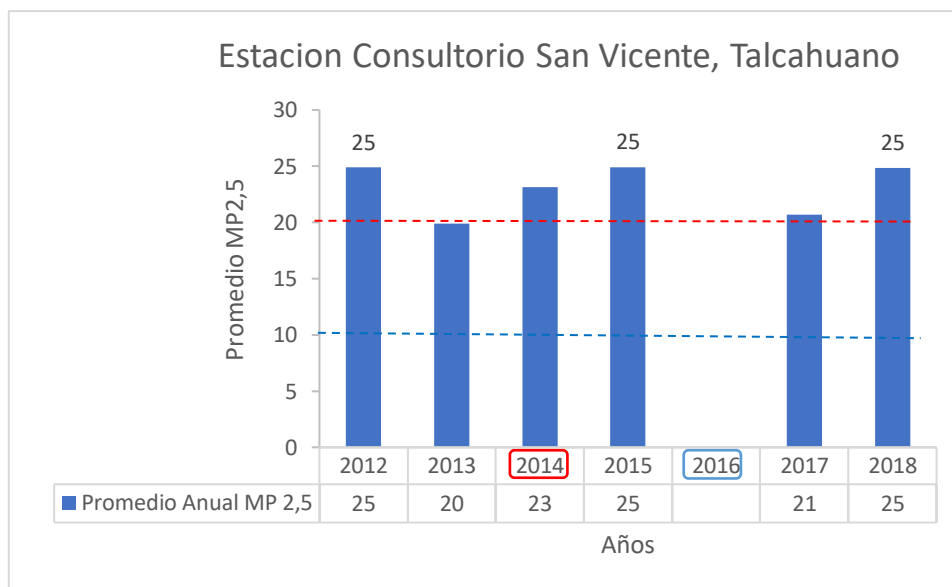
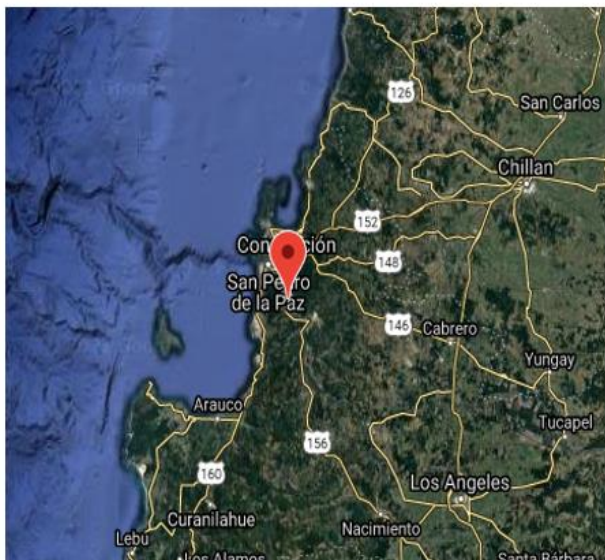


Figura 13: Promedios de emisión de MP2,5 anual entre los años 2012 y 2018 de la estación de monitoreo estación Consultorio San Vicente de la ciudad de Talcahuano.

Se destaca con rojo el año 2014 en el que se da comienzo a la certificación de los calefactores a leña y con celeste el año 2016 en el que inicia la certificación de los calefactores a pellets. La línea de trazos color rojo (---) indica el valor del límite de la norma primaria anual para MP2,5 ($20\mu\text{g}/\text{m}^3$) y la línea de trazos color azul (---) indica el valor límite de emisión de MP2,5 recomendado según la OMS ($10\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Estación Punteras, Chiguayante:

Se muestra en figura 14 la estación de monitoreo Punteras ubicada en la comuna de Chiguayante, con su respectiva información general de esta estación



Información general	
Propietario	Sub Secretaría del Medio Ambiente
Operador	Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA
Región	del Biobío
Provincia	Concepción
Comuna	Chiguayante
Coordenadas UTM	674923 E 5911833 N
Huso horario	18
Recepción de datos	en línea
Inicio de operación reportada	2009-01-01

Figura 14: Estación de monitoreo Punteras ubicada en Chiguayante y su respectiva información general (imagen obtenida de <https://sinca.mma.gob.cl/index.php/estacion/index/key/854>).

En figura 15 se muestran los datos de emisión de MP_{2,5} obtenidos, durante las estaciones Otoño-Invierno (años 2012-2018), para la estación de monitoreo Punteras. Obteniendo que los meses de mayo,

Datos obtenidos de emisión de MP2,5, durante las estaciones Otoño-Invierno (Años 2012-2018): Análisis (fig.15): Los meses de mayo, junio y julio presentan los mayores valores de emisión de MP2,5, por lo contrario, los meses de abril y septiembre registran los valores más bajos desde el año 2013 al 2018. El mes de Julio del año 2013 presentó el valor más alto ($36\mu\text{g}/\text{m}^3$) en emisión casi el doble del valor límite anual de la norma primaria para emisión de MP2,5 ($20\mu\text{g}/\text{m}^3$) y registro casi 4 veces más el valor limite ideal de emisión entregado por la Organización mundial de la Salud ($10\mu\text{g}/\text{m}^3$). Se identificó que en la mayoría de los meses se supera el valor límite de la norma primaria anual para MP2,5 ($20\mu\text{g}/\text{m}^3$). No se observa un efecto significativo de la implementación de la certificación de las estufas a leña (2014) y pellets (2016) en la disminución de las emisiones de MP 2,5 en la Punteras de Chiguayante. Los datos obtenidos en el año 2012 son bajos ya que la presente estación, presento problemas técnicos por un periodo de 6 meses según los datos recopilados en Sinca (Con fecha 01-10-2011/01-03-2012). Por lo que se asume que los datos bajos obtenidos en los meses posteriores fueron consecuencia del restablecimiento de la estación (Con fecha 01-04-2012/01-09-2012).

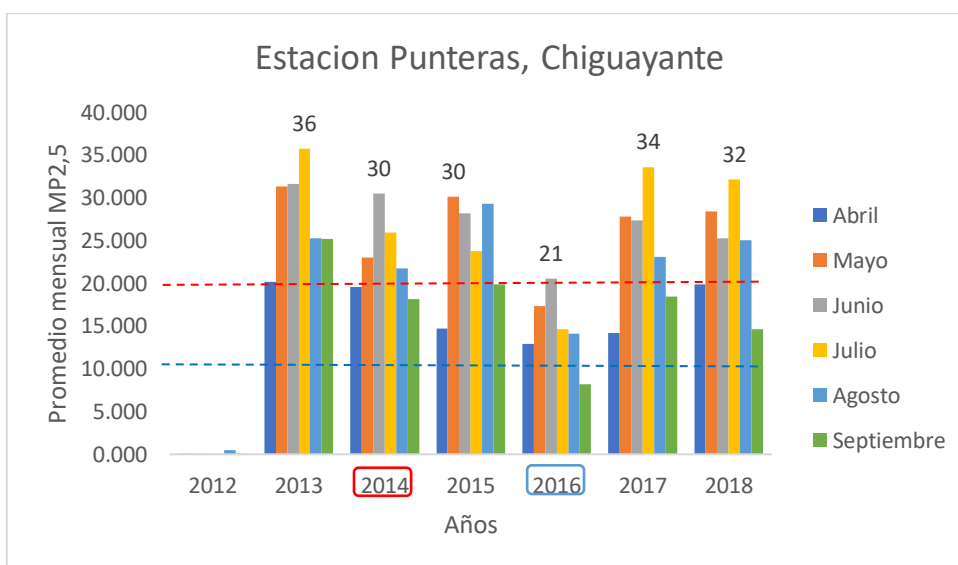


Figura 15: Promedios de emisión de MP2,5 durante las estaciones otoño-invierno de la estación de monitoreo Punteras de Chiguayante, entre los años 2012 y 2018.

Se destaca con rojo el año 2014 en el que se da comienzo a la certificación de los calefactores a leña y con celeste el año 2016 en el que inicia la certificación de los calefactores a pellets. La línea de trazos color rojo (---) indica el valor del límite de la norma primaria anual para MP2,5 ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y la línea de trazos color azul (---) indica el valor límite de emisión de MP2,5 recomendado según según la OMS ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Se presenta en figura 16 los datos del promedio de emisión de MP2,5 durante los años 2012-2018 para la estación Punteras de Chiguayante, Se observa que el promedio máximo de emisión de MP2,5, se registró en el año 2013 ($18 \mu\text{g}/\text{m}^3$) siendo más bajo que el límite de la norma primaria anual para MP2,5 ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En relación a la respuesta ante la certificación de los calefactores a leña (Año 2014) y calefactores a Pellets (2016), existe una tendencia medianamente notoria a la disminución en la cantidad de emisión de MP2,5. En ningún año se supera el valor límite de la norma primaria anual para emisión de MP2,5 ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$), pero si se superó los límites de emisión permitidos por la organización mundial de la Salud ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en todos los años, menos en el año 2012 ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

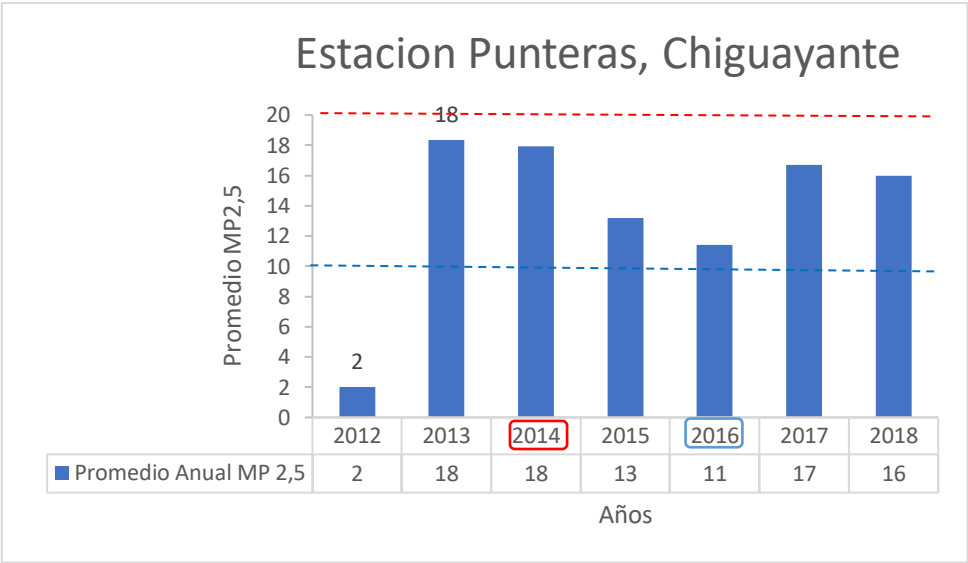


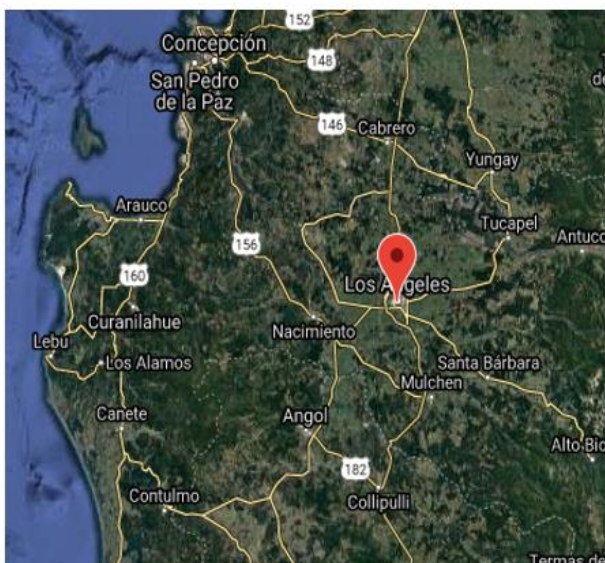
Figura 16: Promedios de emisión de MP2,5 anual entre los años 2012 y 2018 de la estación de monitoreo Punteras de Chiguayante.

Se destaca con rojo el año 2014 en el que se da comienzo a la certificación de los calefactores a leña y con celeste el año 2016 en el que inicia la certificación de los

calefactores a pellets. La línea de trazos color rojo (---) indica el valor del límite de la norma primaria anual para MP2,5 ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y la línea de trazos color azul (---) indica el valor límite de emisión de MP2,5 recomendado según la OMS ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Estación 21 de mayo, Los Ángeles:

Se muestra en figura 17 la estación de monitoreo 21 de Mayo ubicada en la ciudad de Los Ángeles, con su respectiva información general de esta estación



Información general	
Propietario	Sub Secretaría del Medio Ambiente
Operador	Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA
Región	del Biobío
Provincia	Biobío
Comuna	Los Angeles
Coordenadas UTM	733331 E 5849585 N
Huso horario	18
Recepción de datos	en línea
Inicio de operación reportada	2012-04-14

Figura 17: Estación de monitoreo 21 de mayo ubicada en la ciudad de los Ángeles, con la información general de esta estación (imagen obtenida de <https://sinca.mma.gob.cl/index.php/estacion/index/key/875>).

En figura 18, se puede ver los datos de emisión de MP2,5 obtenidos durante las estaciones Otoño-Invierno (años 2012-2018) en la estación de Los Ángeles. Se encontró en esta estación que los niveles de emisión de MP2,5 son mayores en los meses de mayo, junio y Julio (ver figura 18), por lo contrario, se observa una tendencia a disminuir los valores de emisión en los meses abril y septiembre. En la mayoría de los meses (abril-septiembre) se supera el valor de límite de la norma primaria anual para MP2,5 ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). El mes de Julio presentó el valor más alto ($99 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en emisión de MP2,5, superando casi 5 veces los valores límites de la norma primaria para MP2,5 ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y casi 10 veces el valor límite ideal de emisión entregado por la Organización mundial de la Salud ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$). No se observa una tendencia a disminuir los niveles de emisión de MP2,5 con la instauración de la certificación de las estufas a leña (Año 2014) y certificación estufas a Pellet (Año 2016).

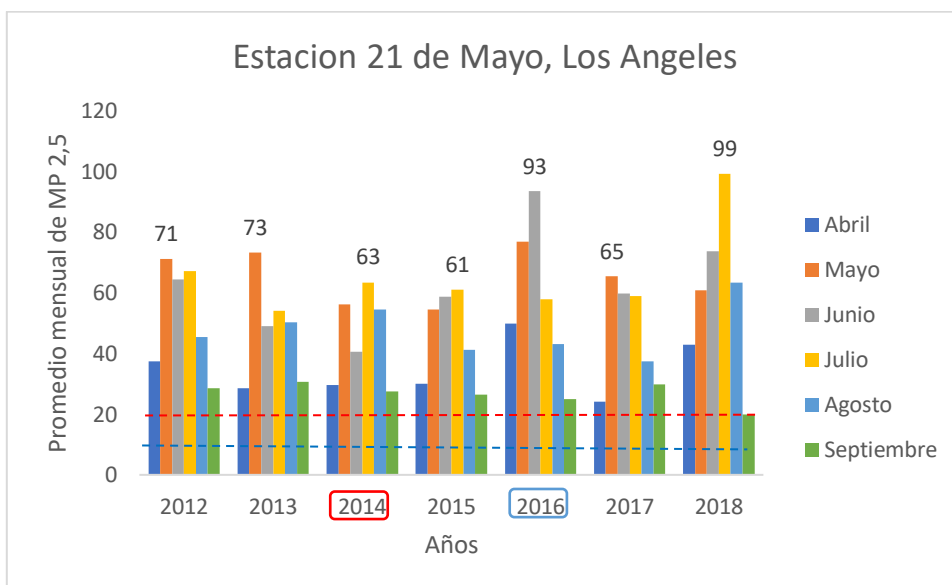


Figura 18: Promedios de emisión de MP2,5 durante las estaciones otoño-invierno de la estación de monitoreo 21 de Mayo de la ciudad de los Ángeles entre los años 2012 y 2018.

Se destaca con rojo el año 2014 en el que se da comienzo a la certificación de los calefactores a leña y con celeste el año 2016 en el que inicia la certificación de los calefactores a pellets. La línea de trazos color rojo (---) indica el valor del límite de la

norma primaria anual para MP2,5 ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y la línea de trazos color azul (---) indica el valor límite de emisión de MP2,5 recomendado según la OMS ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Se observa en figura 19 los promedios anuales de emisión de MP2,5 para el período 2012-2018, en la estación de monitoreo ubicada en Los Ángeles. Se obtuvo como resultado que el promedio máximo de emisión de MP2,5 fue en el año 2012 ($39 \mu\text{g}/\text{m}^3$) casi duplicando el valor límite de la norma primaria anual para MP2,5 ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En cuanto a la respuesta ante la certificación de los calefactores a leña (2014) y certificación de calefactores a pellets, no existe una tendencia notoria a disminuir los niveles de emisión de MP2,5. En todos los años (2012-2018) superan el valor anual límite de emisión de MP2,5 permitido por la organización mundial de la Salud ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y el valor límite de la norma primaria anual para MP2,5 ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

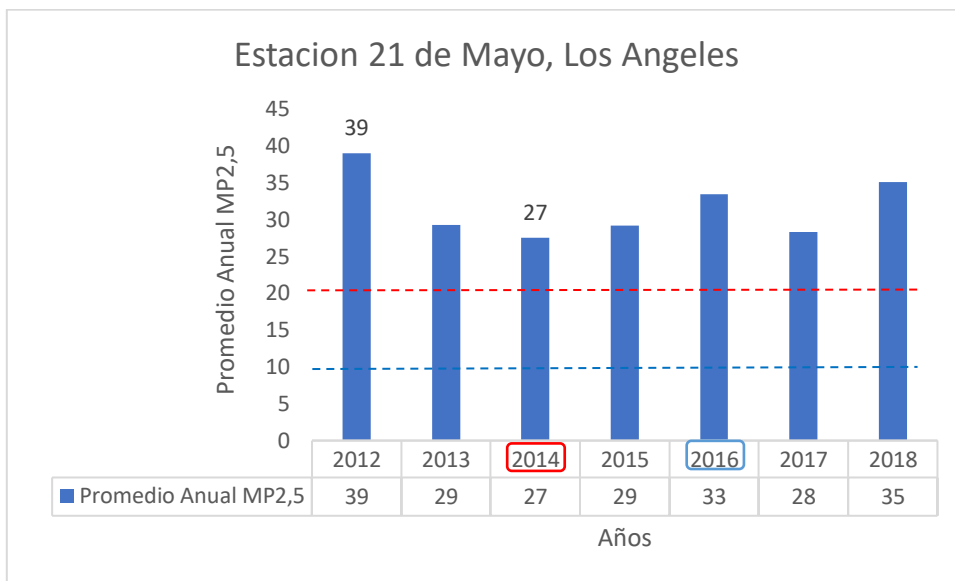


Figura 19: Promedios de emisión de MP2,5 anual entre los años 2012 y 2018 de la estación de monitoreo 21 de mayo de la Ciudad de los Ángeles.

Se destaca con rojo el año 2014 en el que se da comienzo a la certificación de los calefactores a leña y con celeste el año 2016 en el que inicia la certificación de los calefactores a pellets. La línea de trazos color rojo (---) indica el valor del límite de la norma primaria anual para MP2,5 ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y la línea de trazos color azul

(---) indica el valor límite de emisión de MP2,5 recomendado según la OMS (10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Se observa en figura 20, la comparación de emisiones MP2,5 para todas las estaciones monitoreadas, para el período 2012-2018. Se puede observar que las estaciones ubicadas en zonas mayormente residenciales y sin alta presencia de áreas industriales (estación Punteras, Chiguayante y estación Kingston College, Concepción), tienen una tendencia a tener concentraciones inferiores al valor de la norma primaria anual para MP2,5 ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$), pero estas superan los límites de emisión anual indicadas por la OMS ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La estación de monitoreo 21 de mayo de los Ángeles y la estación consultorio San Vicente de Talcahuano en todos los años (2012-2018), presentan valores de emisión de MP2,5 superiores al valor de la norma primaria anual para MP2,5 ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y específicamente como se observa en la Tabla 17, estas ciudades aparte de tener una población numerosa, estas poseen industrias que por su magnitud y procesos pueden tener una participación importante en los niveles altos emisiones de MP 2,5 registrados. Todas las estaciones seleccionadas para esta investigación presentaron concentraciones superiores al valor establecido por la OMS como valor aceptable de emisión de MP2,5 ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En la mayoría de las estaciones seleccionadas no se ve un efecto en la aplicación de la norma (Norma certificación de estufas a Leña desde año 2014 y Certificación de estufas a Pellet desde año 2016). En excepción en las zonas mayormente residenciales y con un número inferior de industrias consideradas de alto impacto, estas estaciones presentaron una disminución en sus emisiones en los años posteriores a la implementación de la norma. (estación Kingston College, Concepción y estación Punteras, Chiguayante).

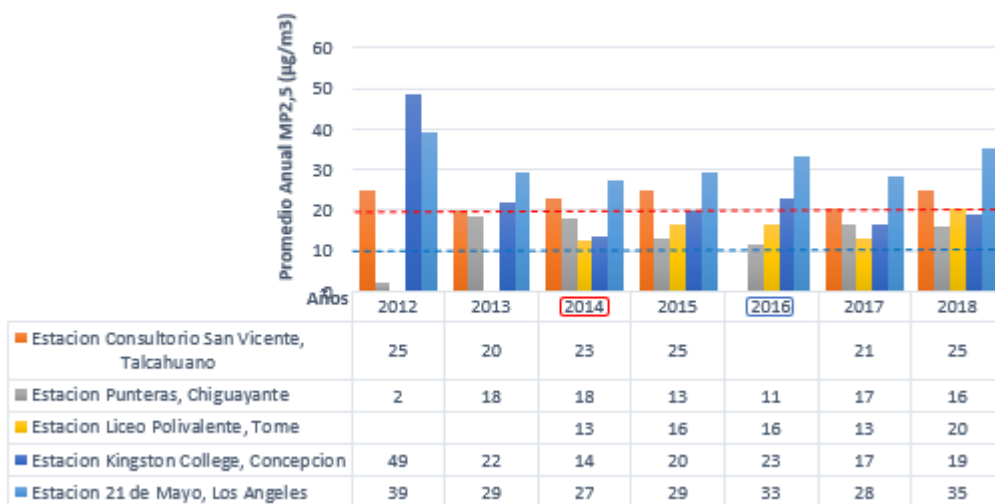


Figura 20: Promedios de emisión de MP2,5 anual (2012-2018) de las 5 estaciones de monitoreo seleccionadas (Estación 21 de mayo, estación Punteras, estación Consultorio San Vicente, estación Kingston College y estación Liceo Polivalente).

Se destaca con rojo el año 2014 en el que se da comienzo a la certificación de los calefactores a leña y con celeste el año 2016 en el que inicia la certificación de los calefactores a pellets. La línea de trazos color rojo (---) indica el valor del límite de la norma primaria anual para MP2,5 ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y la línea de trazos color azul (---) indica el valor límite de emisión de MP2,5 recomendado según la OMS ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Los resultados encontrados en este estudio mostraron que a lo largo de los años Chile ha evolucionado en cuanto a implementar normativas ambientales para la regulación de las emisiones de MP2,5. Muestra de ello es la promulgación del decreto N°12 que establece la norma primaria de calidad ambiental para material particulado fino MP2,5, la que permite identificar situaciones críticas de emergencia ambiental para material particulado respirable MP2,5 y según su clasificación crear un Plan de descontaminación. Se constata que los valores límite de emisión de MP2,5 anual ($20\mu\text{g}/\text{m}^3$) y diaria ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$) establecidos por la legislación chilena son el doble de los establecidos por la organización mundial de la salud, que establece como límite de emisión de MP2,5 anual ($10\mu\text{g}/\text{m}^3$) y diaria ($25\mu\text{g}/\text{m}^3$). Por lo que se concluye que como país aún tenemos que avanzar en disminuir aún más los valores límites establecido de emisión de MP2,5 para otorgar mayor bienestar, seguridad y tranquilidad a las personas.

En cuanto a los decretos (N°39 y N°46) y protocolos, establecidos para la certificación de estufas a Leña y Pellets, se concluye que ayudaron a potenciar la fiscalización de seguridad (PC-200 y PC-201) y eficiencia energética (PC-200/1 y PC201/1) de estos artefactos. Pero no se observó de manera significativa una disminución en las emisiones de material particulado en los años posteriores al comienzo de la certificación de los artefactos a Leña y Pellets, en las estaciones seleccionadas en el presente trabajo. A pesar de que, en el ensayo realizado a los artefactos a leña y pellets, se observó que las emisiones de material particulado fueron mayores en el calefactor a Leña ($2,9\text{g}/\text{h}$), en comparación con el de Pellets ($1,6\text{g}/\text{h}$). Esto no asegura que las emisiones de estos artefactos al ser utilizados en los domicilios emitan valores parecidos. Ya que tanto la leña como los pellets utilizados en el ensayo están estandarizados de manera óptima según lo establecido por norma para realizar el ensayo y posterior certificación. Lo que difiere al uso y control de estos biocombustibles en los domicilios.

Los valores de emisión de Material particulado en los calefactores a leña ya certificados y publicados por la Superintendencia de Electricidad y Combustible (SEC) no sobrepasan los 3,0g/h. Sin embargo, estos pueden no representar la cantidad de emisión real de este contaminante durante su uso en los domicilios. Esto se debe a que la leña utilizada en el proceso de certificación cumple con los requisitos pedidos por la norma (método CH-28), mientras que la utilizada en los domicilios no tiene un control, ni certificación. Por lo tanto, se concluye que la certificación de los calefactores a leña no asegura una disminución significativa en la disminución de Material particulado emitidos en los domicilios.

En relación con la información entregada por la SEC sobre los artefactos a pellets certificados, se observó una tasa de emisión más homogénea que la de los artefactos certificados a leña. Además, no existe tanta distensión entre un modelo de calefactor u otro y los valores de emisión declarados de Material Particulado no sobrepasan los 2,5 (g/h). A pesar de estas características positivas de los calefactores a pellets no aseguran que los niveles de emisión de MP de estos artefactos en los domicilios sean parecidos a los publicados en su certificación. Ya que en Chile no existe la certificación obligatoria de Pellets, solo voluntaria. Por lo tanto, no se asegura la calidad del biocombustible que se utiliza en los domicilios.

En cuanto al análisis a la información entregada por SINCA sobre la emisión de MP_{2,5} de las 5 estaciones seleccionadas (estación Punteras, estación Kingston College, estación 21 de mayo, estación consultorio San Vicente y estación Liceo Polivalente) estudiadas en un periodo del 2012 hasta 2018. Se observó que todas las estaciones de monitoreo superaron los valores límites indicados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 10 µg/m³ de emisión de MP_{2,5} anual y en cuanto al cumplimiento de la norma chilena de emisión de MP_{2,5} anual (20µg/m³), la mayoría de las estaciones no cumplió los límites. Otro punto importante a considerar es que las estaciones que presentaron mayor número de emisión de MP 2,5; Fueron la estación 21 de mayo de los Ángeles y la estación consultorio San Vicente de Talcahuano, estas coinciden en que tienen numerosa

cantidad de habitantes y grandes industrias, lo que estos 2 factores son fuentes importantes de emisión de MP 2,5, lo que se reflejó en los resultados obtenidos.

En la mayoría de las estaciones seleccionadas no se ve un efecto en la aplicación de la norma (norma certificación año 2014). A excepción de las zonas mayormente residenciales y con menor número de grandes industrias que presentaron una disminución en sus emisiones en los años posteriores a la implementación de la norma. (estación Kingston College, Concepción y estación Punteras, Chiguayante).

Se concluye que, a pesar de la certificación de las estufas a leña y pellets, en términos ambientales según los estudios citados en este trabajo, es el mal uso de la leña el responsable del aumento del material particulado en la región del Biobío y en el país. Como la certificación de la leña es voluntaria la mayoría no está controlada lo cual dificulta tener un manejo adecuado del uso eficiente de este combustible. También es importante considerar que el uso de estufas a Pellets son una mejor alternativa de calefacción que el uso de calefactores a leña.

7 BIBLIOGRAFÍA

Álvarez Escobar, Boris, & Boso Gaspar, Álex. (2018). REPRESENTACIONES SOCIALES DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE Y LAS ESTUFAS DE LEÑA EN DIFERENTES NIVELES SOCIOECONÓMICOS DE LA CIUDAD DE TEMUCO, CHILE. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 34(3), 527-540. <https://doi.org/10.20937/rica.2018.34.03.14> (accesada el 31 de Septiembre del año 2021)

Barrios S.C., Peña F.C. y Osses S.B. (2004) Efectos de la contaminación atmosférica por material particulado en las enfermedades respiratorias agudas en menores de 5 años http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-95532004000200004/ (accesada el 14 de octubre del año 2017)

Bustos, Yeniferd, & Ferrada, Luz Maria. (2017). Consumo residencial de leña, análisis para la ciudad de Osorno en Chile. *Idesia (Arica)*, 35(2), 95-105. Epub 13 de mayo de 2017. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292017005000024> (accesada el 30 de Octubre del año 2021)

Chávez, C., W. Gómez, S. Suanes y S. Briceño (2008). "Diseño y Evaluación de Instrumentos Económicos para apoyar la producción, comercialización y uso de leña seca", Informe Final. Proyecto/Adquisición N°1285-34-A107.

Comisión nacional de medio ambiente (CONAMA). 2005. Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos. Centro Nacional del Medio Ambiente. Informe de consultoría.

Cortés, A., y Ridley, I. (2013). Efectos de la combustión a leña en la calidad del aire intradomiciliario: La ciudad de Temuco como caso de estudio. *Revista INVI*, 28(78), 257-271. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-83582013000200008> (accesada el 27 de octubre 2020)

DS N°39, de 2011: Establece norma de emisión de material particulado, para los artefactos que combustionen o puedan combustionar leña y derivados de la madera.

Etze R. y French J. (2000) Contaminación del Aire <http://cidbimena.desastres.hn/pdf/spa/doc12849/doc12849.pdf> (accesada el 13 de octubre 2020)

Gómez-Lobo, A. (2005). El consumo de leña en el sur de Chile: ¿Por qué nos debe preocupar y qué se puede hacer?, *Revista Ambiente y Desarrollo*, 21, (3); 43-47.

MATUS C., PATRICIA, & LUCERO CH., RODRIGO. (2002). Norma Primaria de calidad del aire. *Revista chilena de enfermedades respiratorias*, 18(2), 112-122. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-73482002000200006> (accesada el 30 de septiembre del año 2021)

Ministerio del Medio Ambiente. Estrategia de descontaminación atmosférica en Chile:2014-2018.

<https://www.camara.cl/pdf.aspx?prmID=102604&prmTIPO=DOCUMENTOCOMISION> (accesada el 23 de septiembre 2021)

Organización Mundial de la Salud. (2018). Nueve de cada diez personas de todo el mundo respiran aire contaminado. <https://www.who.int/es/news/item/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action> (accesada el 25 de septiembre 2020)

OYARZÚN, M. (2010). Contaminación aérea y sus efectos en la salud. *Revista chilena de enfermedades respiratorias*, 26(1), 16-25

Pope C.A. and Dockery D.W. (2006) Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect. Pages 709-742

Pope C.A., Burnett R.T., Thun M.J., Called E.E., Krewski D. and Ito K et al. (2000) Lung cancer, cardiopulmonary mortality and long-term exposure to fine particulate air pollution. JAMA. 2002 Mar 6;287(9):1132-41. doi: 10.1001/jama.287.9.1132. PMID: 11879110; PMCID: PMC4037163.

RedPE (2020). Caracterización del mercado de la leña y sus barreras para la transición energética. Santiago, Chile: Red de Pobreza Energética.

Romero M., Lic. Olite F.,² y Álvarez M. (2006) La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 44(2), http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032006000200008&lng=es&tlng=es. (accesada el 07 de Octubre del 2017)

Samet J.M., Dominici F., Curriero F.C., Coursac I. and Zeger SL. (1994) Fine particulate air pollution and mortality in 20 US cities 1987-1994. [Hhttp://www.nejm.org/doi/full/10.1056/nejm200012143432401#t=article/](http://www.nejm.org/doi/full/10.1056/nejm200012143432401#t=article/) (accesada el 28 de Septiembre de 2017)

USEPA. Method-28: Certification and Auditing of Wood Heaters. Code of federal Regulations 40, pt.60, app.A. Revised, July 1990

USEPA. Method-5G: Determination of particulate Emissions from Wood Heaters from a Dilution Tunnel Sampling Location. Code of federal Regulations 40, pt. 60, app.A. Revised July 1990.

World Bank; Institute for Health Metrics and Evaluation. (2016). The Cost of Air Pollution: Strengthening the Economic Case for Action. World Bank, Washington, DC. <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/25013/108141SPsum.pdf?sequence=11&isAllowed=y> (accesada el 30 de septiembre de 2020)



Acta de Certificación

Certifico que el trabajo de Tesis se realizó bajo mi dirección y ha sido aprobado.

Profesor Guía: Dr. Javier Fernández Z.

Declaro que el contenido de esta tesis no se ha presentado total o parcialmente para optar a otro Título o Grado Académico.

Yasna Karina Freire Reyes

Nota del Informe de Práctica o Tesis: 5.95

Fecha de aprobación del Examen de Título y Grado:

_____ de _____ de 2022

Ministro de Fe: _____
