



FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES

**“ANÁLISIS SOCIO-ESPACIAL DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR
MATERIAL PARTICULADO DURANTE 2019-2021 EN LA CIUDAD DE
TEMUCO, CHILE”**

Autor:

Tomás Francisco Romo Urra

Trabajo de grado en modalidad Evaluación Sistemática de Recursos Naturales
para optar al grado de Magíster en Manejo de Recursos Naturales por la
Universidad de La Frontera

Resumen

El material particulado grueso (MP10) y sobre todo el material particulado fino (MP2,5), se encuentran presentes durante todo el año en el aire de la ciudad de Temuco, en Chile. Afectando social, sanitaria y económicamente a la población sobre todo en los meses con bajas temperaturas. De acuerdo a los registros obtenidos de 34 estaciones de monitoreo de calidad del aire MP10 y MP2,5 en la ciudad de Temuco durante el periodo de otoño-invierno de los últimos 3 años, se han identificado 2 áreas en la ciudad con la mayor concentración de MP de ambos diámetros a través de una metodología empleada basada en la elaboración de capas espaciales obtenidas tras una interpolación espacial de los valores estadísticos de tendencia central obtenidos por cada estación. Un área sobre el sector de Vista Verde y Amanecer (sector poniente de Amanecer) y otra sobre el sector de Santa Rosa, específicamente el sector bajo ubicado cercano al río Cautín por avenida Valparaíso. Ambos con una concentración media cercana a los cercanos a 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP10 y registros cercanos o iguales a 73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el MP2,5. Al interior de estas áreas, la vulnerabilidad social se compone de una población levemente más masculina, inmigrante y denominada o autodenominada indígena, que en el resto de la ciudad. Finalmente, estas poblaciones moran en viviendas de estas áreas se caracterizan por ser en una gran mayoría de tipo casa, con techo de planchas de zinc y pared de ladrillo en el sector de Vista Verde – Amanecer y, pared de tabique forrado de madera por ambas caras en el caso de Santa Rosa Bajo. En este último sector también se hallaron una cierta cantidad de viviendas con pared de tabique de madera sin forro interior, lo que se traduce en una falta de aislación y mayor gasto energético en estas viviendas.

Índice

Resumen	2
Introducción.....	4
Objetivo general.....	9
Objetivos particulares	9
Metodología	10
Área de estudio	10
Métodos y materiales	11
Identificación de las áreas con mayor contaminación por MP10 y MP2,5.	11
Análisis sociodemográfico y estructural de las áreas de mayor contaminación	14
Resultados.....	18
Identificación de las áreas con mayor contaminación por MP	18
Análisis estadístico sociológico de las áreas de mayor contaminación por MP10 y MP2,5	24
Análisis descriptivo y comparativo estructural de la vivienda en las áreas de mayor contaminación por MP10 y MP2,5: Viste verde – Amanecer y Santa Rosa Bajo, con Temuco.	29
Discusión	34
Conclusión.....	38
Anexos.....	39
Bibliografía.....	71

Introducción

Contaminación del aire por Material Particulado (MP) en el mundo

Muchas poblaciones en el mundo usan leña como fuente de calor al interior de sus hogares. En total unos 7 millones de personas mueren prematuramente al año (es decir, una de cada ocho del total de muertes en el mundo) a causa de la exposición a la contaminación atmosférica. De estos, 4.3 millones en 2012 tuvieron que ver con la contaminación del aire al interior de los hogares en los que para cocinar se utilizan estufas de biomasa (leña) y carbón (OMS, 2014). Hacia el año 2050 la contaminación del aire en exteriores (fuera del hogar) será la principal causa de muertes en todo el mundo con respecto a decesos provocados netamente por el medio ambiente (OCDE, 2012). Por ende, al ser una problemática emergente y con gran afectación a la población es que en este trabajo de investigación se realizará un análisis del comportamiento espacial y social de la contaminación del aire por MP en la ciudad de Temuco, Chile.

Mukherjee y Agrawal (2017) en un análisis bibliográfico señalan una situación crítica a nivel global con respecto a los niveles de Material Particulado grueso (MP10) en la mayoría de los países en desarrollo del mundo. Se demostró que los valores estaban en disminución en lugares como Europa y EE.UU., pero en la mayoría de los países del continente asiático los valores de MP seguían siendo elevados y complejos, especialmente en China e India. Las principales fuentes identificadas de las emisiones fueron los vehículos motorizados y la quema de biomasa.

En Europa centro-oriental, Perrone et al. (2018) indica que en las áreas urbanas de Zagreb (Croacia), Budapest (Hungría) y Sofía (Bulgaria), los procesos de transformación de gas a partículas (aerosol secundario) y las emisiones primarias productos de la quema de biomasa (entre ellas la leña) son los contribuyentes más importantes de MP10 y MP2,5 siendo el resultado tanto de fuentes locales como del transporte de larga distancia-trayecto tanto desde áreas de la UE como fuera de la UE.

En África, todos los países tienen concentraciones de PM más altas que las recomendadas por la OMS, en donde la principal fuente de MP10 son las incursiones de polvo en el aire provenientes del desierto del Sahara, mientras las causas de MP2,5 en el aire tiene múltiples fuentes (Linden et al. 2012, en Fayiga et al. 2018) como la quema de biomasa. Identificada como la segunda fuente más importante de polución ambiental en países como Ghana (Ofosu et al. 2013, en Fayiga et al. 2018).

Por su parte Suecia, cuenta con muchos hogares con chimenea identificándose a las emisiones de material particulado como un problema ambiental y sanitario, siendo el comportamiento de las personas que consumen este tipo de combustible, uno de los principales elementos que afectan las emisiones de material particulado y la aceptación al paso a otras tecnologías menos contaminantes (Karlsson et al, 2020).

El MP y sus efectos sobre la salud

El MP2,5 se define como partículas ambientales que miden de tamaño 2,5 micrones (o menos) y actualmente, se considera el contaminante más dañino para la salud de la población de los que se miden comúnmente en tiempo real. Su tamaño microscópico permite que las partículas al ser inhaladas se infiltren completamente en el torrente sanguíneo causando efectos potencialmente en la salud como asma, cáncer de pulmón y enfermedades cardiovasculares (IQair, 2020).

El material particulado fino (MP_{2,5}) puede ser emitido directamente al aire, identificado como material particulado fino primario, o puede formarse por reacciones químicas en el aire entre contaminantes precursores de material particulado como SO₂ y NO_x. Este nuevo producto se conoce como material particulado fino secundario y se forma tanto por la condensación de gases enfriados posterior a su emisión, que se añaden a partículas ya existentes como humedad o gotas de agua y se van combinando en conjunto para formar compuestos conglomerados de mayor tamaño (Ministerio del Medio Ambiente [MMA], 2015).

Por su parte, el MP₁₀ corresponde a las partículas que tienen un diámetro igual o menor a 10 micrones (o micrómetros). Por lo tanto, el MP_{2,5} se encuentra contenido en el MP₁₀. Las concentraciones de MP es el valor temporal medio medido en el aire y se expresa en microgramos por metro cúbico normal (µg/m³N) (MMA).

La contaminación atmosférica por MP está estrechamente relacionada con serios problemas de salud como el aumento en el desarrollo de enfermedades cardiovasculares, neumonías, cáncer y una disminución en los años de vida (Gholampour, 2014; OMS, 2014; Mukherjee y Agrawal, 2017; Thompson, 2018).

Thompson (2018) realiza una revisión bibliográfica en donde demuestra que el MP desencadena una respuesta inmunitaria a nivel celular y a menudo, sobre todo a elevadas dosis de exposición, presenta un grado citotoxicidad y que varias investigaciones indican que existe una relación entre los niveles ambientales de MP y ciertos problemas de salud sobre la población como; pérdidas cognitivas, TDAH, autismo, ansiedad y depresión, accidentes cerebrovasculares, paro cardíaco e hipertensión.

En varios países europeos existe una incidencia de un 95% entre la exposición en aire con altas concentraciones de MP₁₀ a largo plazo y cáncer adenocarcinoma de pulmón (Raaschou-Nielsen y col., 2013 en Mukherjee y Agrawal, 2017).

MP en Chile y Temuco

En Chile, varias ciudades del sur enfrentan cada año eventos de contaminación ambiental debido al uso intensivo de la leña para calefacción (Schueftan y González, 2015; Reyes et al, 2017; Boso et al, 2020). El principal combustible utilizado para la calefacción doméstica en los hogares en el centro-sur de Chile es la leña y precisamente la combustión de esta, es la principal fuente de contaminación ambiental por emisiones de material particulado en esta zona del país (Schueftan et al., 2016). Este contexto se agrava por factores como las bajas temperaturas, el escaso acceso a recursos energéticos menos contaminantes y el material de baja eficiencia energética que recubren las viviendas (Boso et al, 2020).

En el área interurbana de Temuco-Padre Las Casas, el uso de leña en las viviendas es causante del 82% y 94% de las emisiones totales en el año de MP₁₀ y MP_{2,5} respectivamente, debido a que residencialmente la leña es el principal combustible empleado en los hogares para calefacción y también para la cocción de alimentos (Ministerio del Medio Ambiente [MMA], 2015).

Esta polución del aire presente en la inter-comuna también ha tenido efectos en la salud de sus habitantes, como lo evidencia Sanhueza et al. (2006) en donde existe una significativa correlación

entre eventos de incrementos de MP 10 y un aumento en la mortalidad por causas de enfermedades respiratorias y cardiovasculares debido a la estacionalidad climática en Temuco.

Cabe señalar que estos hechos de contaminación ambiental datan al menos del año 2000 a nivel de investigación ambiental, cuando el Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA) inicia en la ciudad de Temuco un monitoreo de MP10 que culmina en 2001, en donde el resultado de estas mediciones reflejó una ocurrencia de altos niveles de MP10 en el aire de la ciudad en los meses de otoño e invierno. Y del año 2002 a nivel de prensa en donde algunos diarios como El Mercurio Online (EMOL) dan a conocer este estudio del aire que realizó CENMA, en donde informan a la comunidad sobre una complicada situación ambiental que se presenta en ciudad del sur del país como Temuco y Osorno.

En el año 2005, se declara por primera vez a las ciudades de Temuco y Padre Las Casas como zona saturada en concentración de 24 horas por material particulado MP10 a través del decreto 35 del Ministerio de Secretaría General de la Presidencia. Esto a raíz de que la estación de calidad del aire ubicada en Avenida Las Encinas de Temuco (declarada como Estación de monitoreo de material particulado respirable MP10) diera cuenta de que la norma diaria de material particulado respirable MP10, como concentración de 24 horas, ha sido excedida en los años 2001, 2003 y 2004 (BCN, 2005). En 2006 se declaró zona de latencia por material particulado al área metropolitana de Concepción, igualmente por MP10.

Posteriormente, en el año 2013 se declara a Temuco y Padre Las Casas como zona saturada por material particulado MP2,5. Y al año siguiente se suman las ciudades de Valdivia y Osorno, y en 2015 al Gran Concepción.

Hacia la actualidad, pese a existir una leve disminución de MP 2,5 (no significativa) en Temuco y Padre Las Casas en los últimos años (Huneus et al, 2020), es necesario estudiar y predecir si realmente es una tendencia estable y sostenible hacia el futuro. Haciendo una comparación con el caso de Beijing (China), Liu y Silva (2018) señalan que es importante seguir monitoreando y analizar si la mitigación observada es temporal o es una tendencia estable. Más aún, cuando el nivel de polución del aire por MP2,5 en la zona es considerable hasta hoy. Dado a qué según los resultados del informe mundial de la calidad del aire del 2020, la comuna vecina de Padre Las Casas, cuenta con una concentración media anual de MP2,5 con un valor de 28,6 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) siendo la segunda comuna (municipio) de América Latina con mayor polución del aire por MP2,5 tras la comuna de Coyhaique (IQair, 2020).

Complejidad de los PDA local y problemáticas sociológicas

Para solucionar estas problemáticas ambientales, se han implementado algunos programas o planes de descontaminación atmosférica (PDA) hacia la actualidad por parte del Ministerio del Medio Ambiente para el control y la disminución de la contaminación en la intercomuna (MMA, 2015; Schueftan y González, 2015) como el “Plan de Descontaminación Atmosférica para MP 10 de Temuco y Padre Las Casas (D.S. Nº 78 del 2009, del MINSEGPRES)” y posteriormente, el “Plan de Descontaminación Atmosférica por MP 2,5, para las comunas de Temuco y Padre Las Casas”. Que dentro de sus principales soluciones que se han implementado para el problema de la contaminación del aire por uso de leña para calefacción proponen:

- Fomentar la producción de leña seca y obligar el consumo de leña seca certificada

- Implementación de un Programa de Recambio de artefactos a otros tipos de estufas de calefacción más eficientes y menos contaminantes, a través de subsidios.
- Otorgar subsidios para el acondicionamiento y mejoramiento térmico de viviendas localizadas en la zona, incluyendo sectores de bajos ingresos y más vulnerables.

Sin embargo, pese a los esfuerzos por revertir esta situación, la reducción de emisiones no ha disminuido de forma considerable (Huneus et al, 2020), debido, por una parte, a las percepciones que tienen los usuarios de las estufas de leña sobre su uso y sobre la problemática de contaminación. La “contaminación” aparece como un concepto secundario de las representaciones sociales de las estufas a combustión pese a que estas son las principales causantes de la contaminación ambiental de Temuco (Álvarez y Boso, 2018).

Esto se puede relacionar con el concepto de justicia ambiental empleado por Boso et al. (2020) en donde la población de Coyhaique manifiesta su percepción de la calefacción por leña, describiendo ventajas de su uso sobre otros tipos de combustibles por razones de condiciones culturales de la vida cotidiana, el costo, la multifuncionalidad de las estufas a leña y también a una mayor sensación hogareña de comodidad térmica (Boso et al, 2020).

Otro inconveniente suele ser que en la población tiende a existir un efecto halo al momento de comparar el aire de su hogar y con el aire de la ciudad. Ya que muchas personas creen en forma general que al interior de su hogar están menos expuestos a los riesgos de la contaminación ambiental originada por quema de leña y que la calidad del aire en la ciudad es categóricamente peor que la de su hogar, sea evidente o no. Esta puede ser una de las razones por lo cual las políticas de mitigación de la contaminación del aire no han tenido los resultados esperados hasta el día de hoy (Hofflinger et al, 2019).

Existe la creencia en poblaciones con mayor vulnerabilidad social en que sus hogares se contaminarán más si los ventilan con aire del exterior. Sin embargo, en el comportamiento de estas mismas poblaciones, no se evidencian preocupaciones derivadas de la contaminación del aire al interior de sus viviendas y que, por otra parte, muchas de estas viviendas no cuentan con ventilación mecánica pero sí niveles considerables de infiltración del aire contaminado en el exterior (Boso et al, 2020). En cambio, cuando un hogar cuenta con mayores recursos tienden en general a contar con un mayor aislamiento de la vivienda como las ventanas de doble acristalamiento (panel), tecnología o aparatos para filtrar el aire y mayores facilidades económicas al momento de acceder a otros tipos de sistemas de calefacción (Boso et al, 2020).

Además, existen medidas del PDA que pueden aumentar la pobreza energética, deteriorar las condiciones ambientales al interior del hogar y disminuir la calidad de vida de las personas dado a que este programa no toma en consideración el contexto social ni los hábitos de consumo energético al interior del hogar (Reyes et al, 2019). La pobreza energética se define como un fenómeno multidimensional y relativo que se expresa en la incapacidad de poder acceder a fuentes de energía de servicios energéticos sustentables, cómodos y seguros al interior del hogar y, por lo

tanto, impide la disponibilidad de energía suficiente para cubrir las necesidades fundamentales y básicas que permitan sostener el desarrollo humano de sus integrantes (Amigo et al, 2018).

Otra limitación del PDA radica en que la aceptación y uso de los sistemas de calefacción energéticos emergentes por parte de la población al interior de sus hogares quedan sujetos a factores de diseño

de poder institucional y a prácticas sociales y materiales que se dan en contextos domésticos de la zona sur de Chile (Boso et al, 2017).

El aislamiento térmico de la vivienda también puede ser un factor determinante tanto en la cantidad de emisión de gases contaminantes como en el aspecto económico de un hogar. De acuerdo a lo señalado por Schueftan et al (2016), la baja eficiencia de la aislación térmica de un hogar sumado a la destinación de una parte importante de los ingresos del hogar a calefacción y energía, determinan un significativo nivel de pobreza energética en varios hogares de la ciudad de Valdivia.

Las políticas implementadas a través de los PDA para mejorar la calidad del aire, siempre deben considerar los factores sociales y económicos de un hogar para evitar aumentar la pobreza energética. El programa orientado al cambio de las estufas a leña debe enfocarse en personas que pueden hacer frente al costo de otros tipos combustibles que son más caros como los pellets, el queroseno, la electricidad, entre otros (Reyes et al, 2019).

Problema de investigación

La contaminación ambiental es un problema mucho más complejo y agudo que el simple hecho de cómo se calefacciona un hogar, dado a la existencia de problemas detrás orientados a la pobreza y la desigualdad (Reyes et al, 2019). Pues existen desigualdades ambientales con respecto a formas de desventaja social en el contexto de la contaminación ambiental. Estas se reflejan en asociaciones entre altos niveles de contaminación del aire por MP y zonas urbanas en condiciones sociales de grupos desfavorecidos en el caso de Beijing, China (Ma et al, 2019).

Dado a estas complejidades existentes que están presentes al momento de abarcar el problema de la contaminación del aire por MP es que el objetivo de este estudio es poder realizar un análisis espacial y posteriormente social de la polución del aire por MP10 y MP2,5 sobre la ciudad de Temuco. Pues se busca evidenciar sociológica-demográficamente si los lugares con peor calidad del aire corresponden a poblaciones con mayor vulnerabilidad social como lo demostrado por Ma et al. (2019) en Beijing y comprendiendo el aire urbano o la calidad del aire como un recurso natural de uso común (RUC) planteado por Ostrom (2000).

Objetivo general

Realizar un análisis socio-espacial de la polución del aire por MP10 y MP2,5 en el área urbana de Temuco.

Objetivos particulares:

1. Identificar los valores de contaminación por polución ambiental por MP2,5 y MP10 durante los últimos 3 años en distintos sectores de Temuco.
2. Obtener y calcular las áreas con peor calidad del aire por MP10 y MP2.5 mediante interpolación espacial de datos.
3. Caracterizar y comparar la realidad sociológica, demográfica y estructural al interior de las áreas con peor calidad del aire respecto del resto de la ciudad.

Metodología

Área de estudio

Temuco es una ciudad de la zona centro-sur de Chile, capital de la región de la Araucanía. Su población comunal estimada es de 306.579 habitantes y se localiza aproximadamente a 670 km al sur de la capital Santiago de Chile. La ciudad de Padre Las Casas colinda con Temuco y en conjunto, conforman una conurbación de aproximadamente 388.000 habitantes (INE, 2017). Ambas ciudades están separadas por el curso del río Cautín.

Población 1992*		Población 2002		Población 2017		Población est. 2022	
Total comuna	Urbano	Total comuna	Urbano	Total comuna	Urbano	Total Comuna	Urbano
243.561	210.587	245.347	232.528	282.415	263.165	306.579	295.659

*Se incluye a la población de Padre Las Casas que se independiza como comuna el año 1997.

Tabla 1. Datos de población de la comuna Temuco. *Fuente:* INE 1993, INE 2003, INE 2017 y Geodatos abiertos INE.

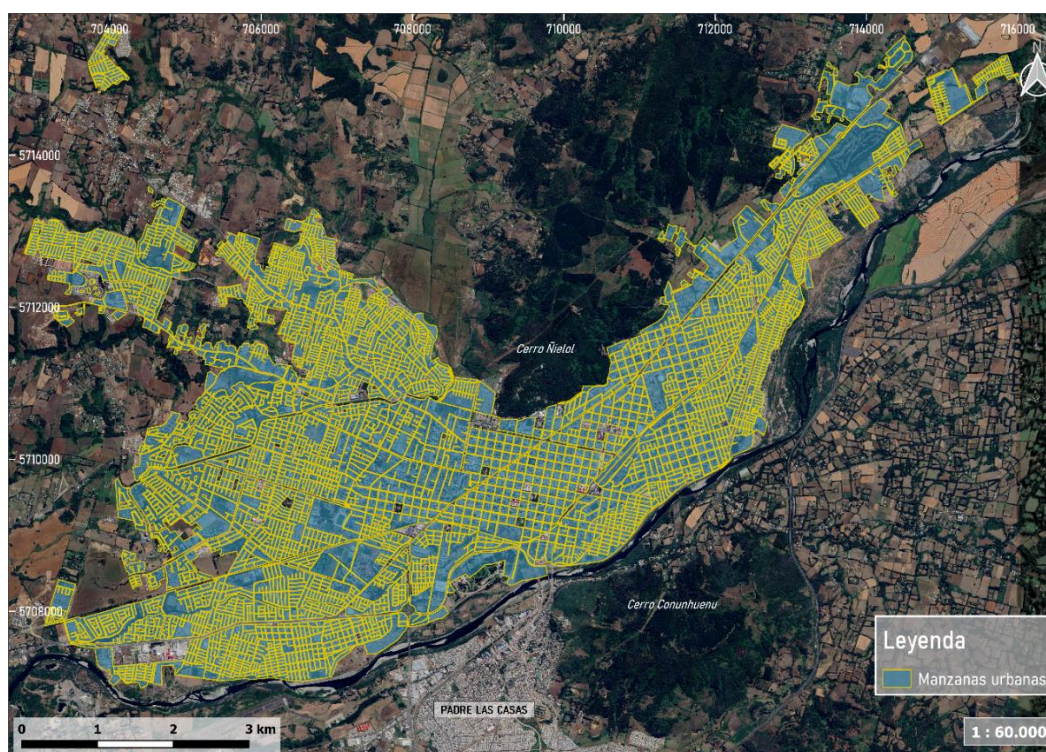


Figura 1. Mapa del área de estudio (Temuco) compuesto manzanas urbanas.
Fuente: elaboración propia a partir información de manzanas censales 2017 (INE, 2017).

Métodos y materiales

Identificación de las áreas con mayor contaminación por MP10 y MP2,5.

La metodología general empleada está inspirada en el estudio de Ma et al. (2019) *"A spatial analysis of air pollution and environmental inequality in Beijing, 2000–2010"*, en español *"Un análisis espacial de la contaminación del aire y desigualdad ambiental en Beijing, 2000-2010"*.

Temuco cuenta con estaciones de medición de calidad del aire en tiempo real en distintos sectores de la ciudad, siendo estos administrados por el Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA) del Ministerio del Medio Ambiente y por el Centro de Estudios de Ingeniería de Software (CEIS) de la Universidad de La Frontera (UFRO) a través de la aplicación móvil "Aire Temuco".

Para este proceso se utilizaron los insumos de los datos de MP10 y MP2,5 obtenidos desde las estaciones de monitoreo de ambas instituciones a través de sus respectivos sitios web. Sumando un total de 34 estaciones (tabla 2) con sus registros históricos de MP por minuto y por hora en el área urbana de Temuco (excluyendo labranza).

Cabe señalar las estaciones de monitorio del aire de la Página web y aplicación móvil "Aire Temuco" de CEIS UFRO cuenta con registros de datos ambientales solo desde el año 2019. Por lo tanto, se consideraron los datos de todas estas estaciones disponible desde el día 1 de abril del 2019 al día 30 de septiembre del 2021. Durante estos 6 meses se compone la temporada de otoño-invierno cuando debido a las bajas temperaturas se declara restricción ambiental en Temuco por la contaminación generada en el uso prolongado de calefacción a leña (BCN, 2015).

Los meses de análisis corresponden a abril 2019, mayo 2019, junio 2019, julio 2019, agosto 2019, septiembre 2019, abril 2020, mayo 2020, junio 2020, julio 2020, agosto 2020, septiembre 2020, abril 2021, mayo 2021, junio 2021, julio 2021, agosto 2021 y septiembre 2021.

ID	Nombre estación	Institución encargada	Modelo	Latitud	Longitud
1	Amanecer 1	CEIS, UFRO	pms7003, hpma115s0 y sps30	-38,76	-72,629
2	Amanecer 2	CEIS, UFRO	sps30	-38,756345	-72,637074
3	Amanecer 3	CEIS, UFRO	hpma115s0 y sps30	-38,759191	-72,654515
4	Centro 1	CEIS, UFRO	pms7003, hpma115s0 y sps30	-38,7373136	-72,5893911
5	Centro 3	CEIS, UFRO	sps30	-38,731711	-72,59697
6	Centro 4	CEIS, UFRO	sps30	-38,733459	-72,58963
7	Centro 5	CEIS, UFRO	sps30	-38,734239	-72,586509
8	El Carmen 1	CEIS, UFRO	pms7003, sps30	-38,712309	-72,655122
9	El Carmen 3	CEIS, UFRO	sps30	-38,7099	-72,6625
10	Labranza 7	CEIS, UFRO	sps30	-38,753998	-72,663772
11	Las Encinas	SINCA, MMA	-	-38,7477	-72,63
12	Ñielol	SINCA, MMA	-	-38,725	-72,5798
13	Padre Las Casas	SINCA, MMA	-	-38,77	-72,5952
14	Pedro Valdivia 1	CEIS, UFRO	pms7003, hpma115s0 y sps30	-38,725957	-72,612737

15	Pedro Valdivia 2	CEIS, UFRO	hpma115s0 y sps30	-38,710756	-72,626674
16	Pedro Valdivia 3	CEIS, UFRO	sps30	-38,709173	-72,633779
17	Poniente 11	CEIS, UFRO	sps30	-38,73303773	-72,62179613
18	Poniente 13	CEIS, UFRO	sps30	-38,734063	-72,645999
19	Poniente 16	CEIS, UFRO	sps30	-38,736924	-72,623049
20	Poniente 2	CEIS, UFRO	hpma115s0 y sps30	-38,7332	-72,620522
21	Poniente 3	CEIS, UFRO	sps30	-38,742208	-72,620306
22	Poniente 7	CEIS, UFRO	sps30	-38,73470319	-72,64484703
23	Poniente 9	CEIS, UFRO	sps30	-38,73951105	-72,62829780
24	Pueblo Nuevo 1	CEIS, UFRO	pms7003 y sps30	-38,71805	-72,564334
25	Pueblo Nuevo 6	CEIS, UFRO	sps30	-38,691893	-72,52836
26	Pueblo Nuevo 7	CEIS, UFRO	sps30	-38,697859	-72,548028
27	Pueblo Nuevo 8	CEIS, UFRO	sps30	-38,7067	-72,549967
28	Santa Rosa 1	CEIS, UFRO	hpma115s0 y pms7003	-38,737	-72,5625
29	Santa Rosa 2	CEIS, UFRO	sps30	-38,7477	-72,58286118
30	Universidad 1	CEIS, UFRO	hpma115s0	-38,745344	-72,615455
31	Universidad 2	CEIS, UFRO	sps30	-38,755017	-72,610267
32	Universidad 3	CEIS, UFRO	sps30	-38,748123	-72,606798
33	Universidad 5	CEIS, UFRO	sps30	-38,754759	-72,639591
34	Universidad 7	CEIS, UFRO	sps30	-38,74491270	-72,60197997

Tabla 2. Estaciones de monitoreo del aire consideradas.

Fuente: elaboración propia

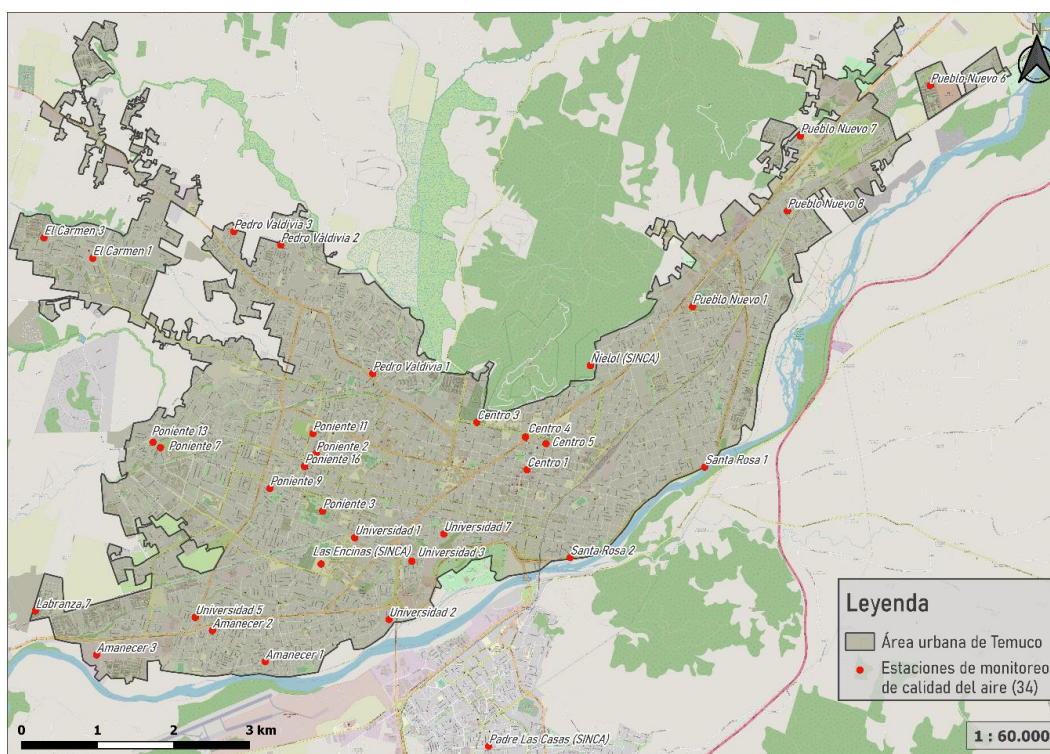


Figura 2. Mapa del área de Temuco con la distribución de las estaciones de monitoreo del aire consideradas en este estudio. *Fuente:* elaboración propia.

Estas estaciones, a través de sistemas de información geográfica (SIG) en el software Qgis (como se observa en la figura 2), se conformaron y proyectaron como una capa espacial a través de sus coordenadas geográficas obtenidas previamente.

Al extraer las bases de datos de MP por estación, mediante SPSS se extrajeron sus estadísticos descriptivos de tendencia central. Obteniendo la media o promedio mensual como valor representativo de todos los registros de MP obtenidos según estación. Finalmente, siguiendo Ma et al. (2019), se consideró este valor promedio de los registros obtenidos por cada estación para la elaboración de capas espaciales de contaminación por MP. Con la diferencia que Ma empleó estos resultados anualmente, aquí a nivel mensual. Posteriormente se realizó un análisis descriptivo de datos en SPSS con todos los registros de todas las estaciones por mes. Con el fin de poder comparar estadísticamente los datos por M10 y MP2,5 a nivel de ciudad entre los meses considerados.

Posteriormente se realizó una interpolación espacial de este valor mensual de MP obtenido para cada una de las estaciones a través del método Inverse Distance Weighting (IDW) en el software de Qgis 3. Sin embargo, no todas las estaciones contaban con los datos completos para los 18 meses considerados (ver anexo 1), por lo que se realizó la interpolación espacial con los datos completos disponibles por mes para cada estación.

Como se observa en la tabla 3, la capa raster de contaminación mensual resultante se reclasificó según los criterios definidos por la "Environmental Protection Agency" (EPA), en 5 categorías según la concentración de MP10 y MP2,5 por metro cúbico.

Categorización del índice de calidad del aire	MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	MP2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Bueno	0-54	0 - 15
Regular	55-154	16 - 40
Insalubre para grupos sensibles	155-254	41 - 65
Insalubre	255-354	66 - 150
Muy insalubre	355-424	151 - 250
Peligroso	425-604	251 - 500

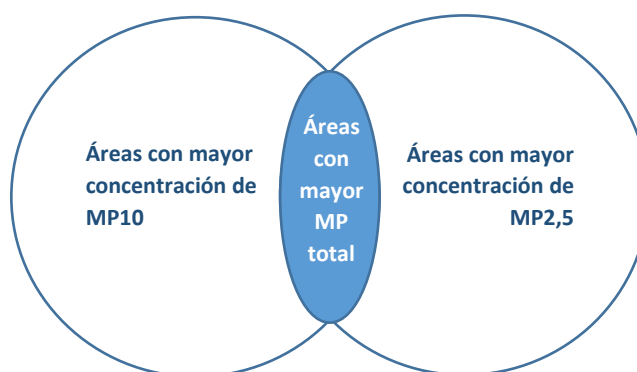
Tabla 3. Categorización de rangos del índice de calidad del aire por MP10 y MP2,5. *Fuente:* U.S. EPA, utilizado en Dye & Chan (2016).

Posteriormente se obtuvieron las 18 capas de contaminación mensual de MP10 y 18 capas de contaminación mensual por MP2,5, a las que se les aplicó álgebra de mapas a través de la herramienta "Calculadora Raster" del Qgis 3. Se asignó a cada una de las 18 capas el mismo peso para la nueva capa resultante. Siendo esta la capa definitiva de la distribución espacial del MP10 total para todo el periodo.

El mismo proceso se realizó para la obtención de la capa de la distribución espacial del MP2,5 total.

Luego se procedió a delimitar sobre estos 2 mapas, las áreas con mayor concentración tanto para MP10 como para MP2,5. Dando como resultado la obtención de 2 nuevas capas que representan las áreas con mayor contaminación para MP10 y para MP2,5 en Temuco.

Finalmente, a través de herramientas de geoprocesamiento de capas vectoriales de Qgis 3, se interceptaron (cruzaron) ambas áreas de mayor contaminación y se obtuvo como objeto final, las áreas de mayor contaminación de MP para Temuco.



Análisis sociodemográfico y estructural de las áreas de mayor contaminación

La micro unidad espacial considerada el análisis socio-espacial en las áreas de mayor contaminación por MP corresponden a las manzanas censales del INE. Dado que en estas áreas urbanas existe mayor nivel de información social y demográfica en el último censo nacional. Los datos de población del año 2017 y los datos geoespaciales de población y vivienda por sector censal fueron obtenidos del Portal de Geodatos abiertos del INE.

Por lo tanto, para identificar y caracterizar sociológicamente y demográficamente las áreas de mayor contaminación obtenidas en el proceso anterior, se desplegó, a través de sistemas de información geográfica en el software en Qgis 3, los datos espaciales de la capa de manzanas censales urbanas del censo 2017 en Temuco (ver figura 3). Dentro de esta información espacial se consideraron las variables expuestas en la tabla 4. Las cuales posteriormente se les calculó su respectiva tasa porcentual (frente a la variable universal "N° total personas") por manzana. Esto para poder realizar un análisis comparativo entre los datos de las manzanas de las áreas de mayor contaminación con las manzanas de toda la ciudad y así poder caracterizar sociológica y demográficamente estas áreas.

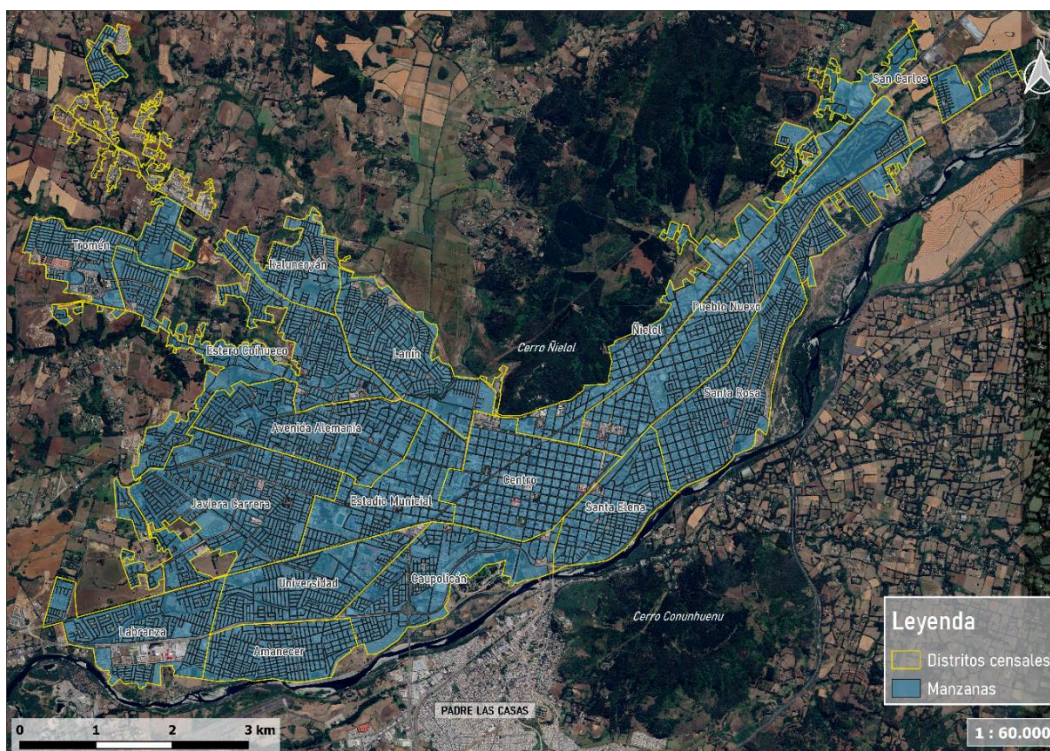


Figura 3. Distribución de las Manzanas por distrito censal del área urbana de Temuco (excluyendo Labranza).
Fuente: elaboración propia a partir información de manzanas y distritos censales 2017 (INE, 2017).

Variable	Variable obtenida para aplicar
N° de hombres	Índice de masculinidad *
N° personas de 0 a 4 años	Tasa de población infantil menor de 4 años
N° personas mayores de 64 años	Tasa de población mayor
N° personas inmigrantes	Tasa de inmigrantes
N° personas perteneciente a pueblo indígena	Tasa de población indígena

*A diferencia de las otras variables, el índice de masculinidad se define como el N° de hombres por cada 100 mujeres.

Tabla 4. Variables consideradas para la caracterización sociológica y demográfica de las áreas con peor calidad del aire y la comparación con Temuco. Fuente: elaboración propia.

El índice de masculinidad se obtuvo de la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de masculinidad} = \frac{\text{N° de hombres por manzana}}{\text{N° de mujeres por manzana}} * 100$$

Y el resto de las variables se calcularon a través de la siguiente fórmula (poniendo de ejemplo la tasa de población inmigrante):

$$\text{Tasa de inmigrantes} = \frac{\text{N° de inmigrantes por manzana}}{\text{N° total de personas por manzana}} * 100$$

Se consideraron las variables sociodemográficas de población de adulto mayor, población de niños menores de 5 años y población inmigrante (3 de las 4 variables que analizan los autores), pero en para este análisis se incluye además la variable de “Población indígena” y “Genero”. Esto de acuerdo a la disponibilidad de datos sociológicos y demográficos del INE.

Se obtuvo la mediana de las tasas de estas variables sociológicas y demográficas de todas las manzanas localizadas al interior de estas áreas identificadas con mayor contaminación por MP y a través del software SPSS, se compararon con la mediana obtenida para las mismas variables por manzana de toda el área urbana de Temuco (excluyendo Labranza).

Cabe mencionar dentro de la variable de “Rangos de edad” se consideraron solo los rangos etarios de niños menores de 5 años y adultos mayores. Dado que los niños menores de 5 años son más susceptibles a sufrir complicaciones de salud y hospitalizaciones por MP2.5 (Matus & Oyarzún, 2019). Y en el caso del grupo de los adultos mayores, con el fin de poder contrastar este análisis con Ma et. al (2019), en donde uno de los grupos sociales que cuentan con peor calidad del aire en sus lugares de residencia.

Finalmente, para complementar la información sociológica-demográfica, se incluyeron otras variables de la base de datos espacial de manzanas del Censo relacionadas con la infraestructura y materialidad de la vivienda. Dado a que, como se señaló anteriormente, el aislamiento de la vivienda tiene relación con la cantidad de gases emitidos por la vivienda y su pobreza energética (Schueftan et al., 2016)

Para estas variables se realizó un análisis descriptivo del tipo e infraestructura de las viviendas a través de las variables presentadas en la tabla 5, para las manzanas de las áreas con mayor contaminación y su comparación con todas las manzanas de Temuco.

Variable	Abreviación	Descripción
Tipo de vivienda	VIV_TIPO_C	Viviendas tipo casa
	VIV_TIPO_D	Viviendas tipo departamento en edificio
	VIV_TIPO_T	Viviendas tipo vivienda tradicional indígena (ruka- pae pae u otras)
	VIV_TIPO_P	Viviendas tipo pieza en casa antigua o en conventillo
	VIV_TIPO_M	Viviendas tipo mediagua-mejora-rancho o choza
	VIV_TIPO_1	Viviendas tipo móvil (carpa-casa rodante o similar)
	VIV_TIPO_O	Viviendas tipo otro tipo de vivienda particular
Materialidad de las paredes	VIV_PARED	Viviendas con materialidad en paredes de Hormigón armado
	VIV_PARE_1	Viviendas con materialidad en paredes de albañilería: bloque de cemento-piedra o ladrillo
	VIV_PARE_2	Viviendas con materialidad en paredes de tabique forrado por ambas caras (madera o acero)
	VIV_PARE_3	Viviendas con materialidad en paredes de tabique sin forro interior (madera u otro)
	VIV_PARE_4	Viviendas con materialidad en paredes de adobe-barro-quincha-pirca u otro artesanal tradicional

	VIV_PARE_5	Viviendas con materialidad en paredes de materiales precarios (lata-cartón-plástico-etc.)
Materialidad del techo	VIV_TECO	Viviendas con materialidad de techo tejas o tejuelas de arcilla-metálicas de cemento de madera-asfálticas o plásticas
	VIV_TEC_1	Viviendas con materialidad de techo losa hormigón
	VIV_TEC_2	Viviendas con materialidad de techo planchas metálicas de zinc-cobre-etc. O fibrocemento (tipo pizarreño)
	VIV_TEC_3	Viviendas con materialidad de techo fonolita o plancha de fieltro embreado
	VIV_TEC_4	Viviendas con materialidad de techo paja-coirón-totora o caña
	VIV_TEC_5	Viviendas con materialidad de techo materiales precarios (lata-cartón-plástico-etc.)
	VIV_TEC_6	Viviendas con materialidad de techo sin cubierta sólida de techo

Tabla 5. Variables consideradas para la caracterización estructural de las viviendas en las áreas con peor calidad del aire y la comparación con Temuco. *Fuente:* elaboración propia.

Con esta última información, se completó finalmente el análisis socio-espacial de la contaminación ambiental por MP en la ciudad de Temuco.

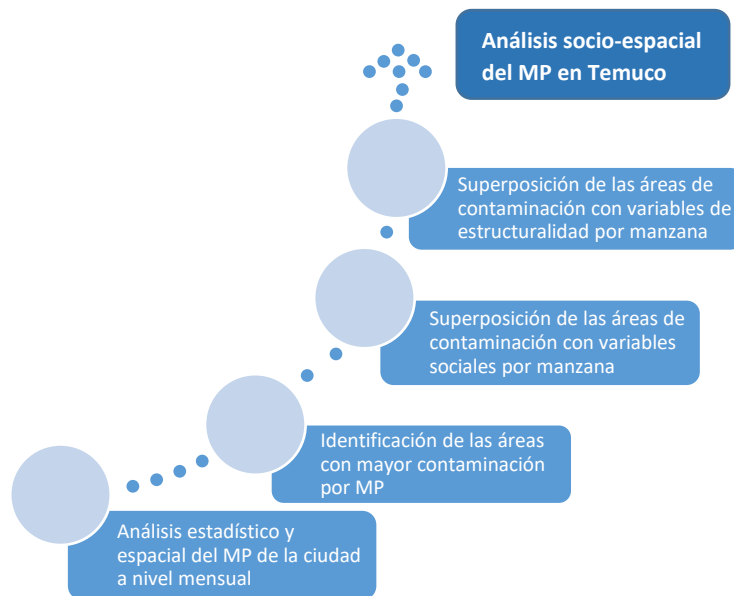


Figura 4. Sistematización metodológica.
Fuente: elaboración propia

Resultados

Identificación de las áreas con mayor contaminación por MP

Los primeros resultados obtenidos corresponden a los valores mensuales por cada estación de MP10 y MP2,5 que corresponden a la media de todos los registros obtenidos por minuto dentro del respectivo mes para cada mes (ver tablas 6 y 7).

Donde se puede observar notables variaciones intermensuales en donde en la mayoría de las estaciones registran mejor calidad del aire por MP10 y MP2,5 en los meses de abril y septiembre. Mientras que los meses con los valores más altos de contaminación por año oscilan entre mayo y julio. Se puede observar con mayor detalle la calidad del aire por mes a nivel ciudad (análisis estadístico de todas las estaciones por mes) a través de las tablas de estadísticos descriptivos mensual desde el Anexo 1 al 18.

Con estos valores mensuales por estación se obtienen las capas de la distribución de MP10 Y MP2,5 mes a mes, a través de la interpolación espacial en Qgis, representados en los mapas desde el anexo 19 al 54. Aquí se puede observar la dinámica de las concentraciones de MP10 y MP2,5 entre distintos meses y años clasificados según los criterios de la EPA (tabla 3) sobre toda el área urbana de la ciudad de Temuco (exceptuando la localidad de Labranza).

Posteriormente, con la ejecución del algebra de mapas en el mismo software, se obtuvo la capa espacial de la distribución general de la contaminación por MP10 y MP2,5 sobre la ciudad de Temuco representados cartográficamente en los mapas de la figura 5 a la figura 8, en donde en estos mapas se resume el comportamiento espacial tanto del MP10 como del MP2,5 para los 18 meses y 3 años de análisis de este fenómeno.

En la figura 5 se muestra el nivel de contaminación de MP10 por pixel distribuido por distritos censales (sectores) en Temuco a través de una capa raster de un pixel de 15m² y de color monobanda (cada pixel representa un valor específico de MP10). En donde el sur de Santa Rosa y el límite distrital entre amanecer, universidad y labranza concentran los mayores niveles de MP10 cercanos a 40 µg/m³N. Mientras que el sector Ñielol, ubicado a los pies del cerro homónimo, presenta la mejor calidad del aire con una concentración de solo 18 µg/m³N. Otros sectores como el de la Universidad de La Frontera (UFRO) o el acceso Norte de la ciudad, también presentaron valores bajos de MP10. Sin embargo, en la figura 6 al clasificar la concentración de MP10 por los rangos de la EPA, no se visualiza una diferencia significativa entre los distintos sectores dado a que la ciudad completa arrojó una calidad del aire “buena” para todos sus sectores.

Respecto al nivel de contaminación por MP2,5 por pixel (figura 7), este contaminante presenta sus mayores concentraciones en el límite distrital entre Amanecer y Labranza. Con valores cercanos o iguales a 73 µg/m³ y valores altos también para otros sectores como el oeste de Fundo el Carmen en el distrito censal de Tromén, Pueblo Nuevo y Santa Rosa. Mientras que las concentraciones más bajas se localizaron, al igual que en el MP10, en el sector Ñielol y UFRO con valores entorno a los 38 µg/m³. También en segundo lugar, el centro de Temuco y el acceso norte con valores inferiores a 45 µg/m³. En la figura 8, aplicando los rangos de clasificación, se puede observar que prácticamente en todo Temuco no existe ningún sector con calidad de aire “bueno” para el MP2,5.

	Abr-19	May-19	Jun-19	Jul-19	Ago-19	Sep-19	Abr-20	May-20	Jun-20	Jul-20	Ago-20	Sep-20	Abr-21	May-21	Jun-21	Jul-21	Ago-21	Sep-21
Amanecer 1						66,3	70,1	117,5	117	122	102,8	69,2	39,3	126,7		144,6	97	54,3
Amanecer 2	127,5	160,1	131,5	163,8	175,3	83,2	50,5	77	82,4	93,7	91,4	63,5		70,1	85,9	97,4	62,2	
Amanecer 3													37,3	103,1		151,3	93,7	53,5
Centro 1	57,1	70,8	52,8	49,8	59,8	30,1	29	58,7	57,4	63,7	44,8	36,1	24	54,9	67,1		41	27,1
Centro 3										64,5	46,2	33,4	19,7	48,5	56,7	62,1	35,6	24,3
Centro 4								62,8	100,1	94,1	55,7	35,3		50,8	97,5	100,9	52,6	30,3
Centro 5							31,1	85,6	92,8	99,4	67,5	46,8		27,5	59,2			12,7
El Carmen 1														112	136,7	126,7	80,8	51,3
El Carmen 3										185,3	135,8	84,5						
Labranza 7									33,3	106,9	58	43,2	24,7	56,5		70,2	43,1	31,3
Las Encinas	39,01	59,41	47,2	53,7	59,5	33,9	36,4	56,9	45,9	52,9	51,1	44,9	31,9	61,1	68,1	72,3	45	35,1
Nielol	32,09	47	38,5	32,7	37,6	25,6	27,6	42,2	40,1	40,4	28,9	30,2	25,6	43,3	47,6	44,9	31	24,7
Padre Las Casas	48,4	79,4	64,5	81,9	88	43,8	48,5	82	66,1	80,2	71,2	57,8	40,5	80,7	89,5	95	62,9	47,7
Pedro Valdivia 1	98,4	110,8	101,4	95,3	97,4	48,8	38,3	74,7	106,9	108	80,7	56,2		84,6			45,2	42,7
Pedro Valdivia 2					45,7	35,2	33,9	61,2	49	64,6	56,6	46,2				66,3	30	
Pedro Valdivia 3							42,7			81,2	71,4	45,3	27,1	69,1	93,1	86,9	51,4	32,9
Poniente 2													8,6	67,5	69,7	91,2	140	22,8
Poniente 3										63	51,6						34,6	
Poniente 7							46	68,3	76,8	78,7	51	36,2						
Poniente 9								158,3	112,2	127	101,7	71,1		116,9				
Poniente 11										111,8								
Poniente 13															57,2	56,5	38,2	24,5
Poniente 16																	74,9	47,1
Pueblo Nuevo 1		118,6	98,7	91,7	100,4	51,1	40,6	76,9	81,6	85	62,9	48,1	46,4	78,1	128,3	132,5	76,3	53,3
Pueblo Nuevo 6							41,3			101,9	67,7	48,5	32,4	85,7	104,5	113,6	61,9	38,6
Pueblo Nuevo 7									17,1	36,6	27,2	22,4	16,5	37,5	42,1	43,7	23,6	17
Pueblo Nuevo 8										102,4	61,9	47,1		54,4	86,5	89,2	51,1	33,5
Santa Rosa 1	189	263,1	156,6	156,3	162,6	85,2	67,7	98,1	128,7	132,7	102,4	74	39	97,3	106,7	104,4	69,5	46,6
Santa Rosa 2							50,9			119	100,1	79,3			111,4	112,6	66,1	42,1
Universidad 1	56,4	81,5	53,5	57,4	56,8	27,6	28,7			63	49,5	36	21,8	61,8	68,3	73,2	40,6	24,2
Universidad 2							63			134,6								
Universidad 3							48	109,8	85,6	114	101	63,2					58,5	33,5
Universidad 5							80	160,3	164,1	181,6	155	105,2	57,2	152,5	171,1			
Universidad 7									60,7	96,1	72,3	51,2	27,7	69,5	85,5	96,2	56,3	35,5

Tabla 6. Valores mensuales de MP10 por estación. Fuente: elaboración propia

	Abr-19	May-19	Jun-19	Jul-19	Ago-19	Sep-19	Abr-20	May-20	Jun-20	Jul-20	Ago-20	Sep-20	Abr-21	May-21	Jun-21	Jul-21	Ago-21	Sep-21
Amanecer 1						63,7	67,3	117,4	112,4	120,7	101,1	68,1	38,7	125,1		142,2	94,9	53,3
Amanecer 2	120,5	150,8	123,9	152,9	163,8	77,9	44,7	77,0	71,8	80,7	78,2	55,2		59,6	72,6	81,4	52,2	
Amanecer 3													36,1	99,1		141,7	88,5	50,8
Centro 1	52,9	65,0	48,6	45,4	54,0	27,4	27,3	58,7	53,8	59,7	42,1	34,0	22,8	52,1	63,1		38,5	25,6
Centro 3										61,9	44,5	32,5	19,3	47,7	55,2	60,0	33,9	23,2
Centro 4								62,8	94,5	89,9	53,4	34,4		49,4	93,3	95,5	49,5	29,0
Centro 5							30,3	85,6	90,0	95,8	65,0	45,4		27,2	57,4			10,8
El Carmen 1														108,8	131,5	122,7	77,6	49,4
El Carmen 3										167,3	119,6	74,9						
Labranza 7									32,6	104,9	56,6	42,4	24,4	55,8	71,4	69,5	42,4	30,8
Las Encinas	27,4	45,8	41,4	39,6	38,0	22,0	28,7	53,9	43,9	47,1	43,5	34,2	20,6	53,4	60,9	65,6	37,9	24,9
Nielol	17,7	38,8	29,9	25,6	29,1	16,9	20,7	37,1	35,7	36,1	24,3	21,3	16,8	37,2	43,3	41,3	26,7	18,0
Padre Las Casas	38,4	72,5	58,6	77,8	81,1	40,3	40,8	77,9	62,9	74,9	65,3	48,5	30,3	74,9	83,7	90,8	58,6	38,3
Pedro Valdivia 1	91,7	102,8	94,2	88,2	90,3	45,0	35,5	74,7	98,8	99,7	74,5	51,8		78,3			41,3	39,3
Pedro Valdivia 2					44,0	33,8	32,8	61,2	47,5	62,8	54,9	44,8				64,8	28,9	
Pedro Valdivia 3							38,0			72,7	64,7	42,2	25,6	64,1	85,5	79,8	46,8	30,2
Poniente 2													7,6	65,4	67,4	89,0	138,8	21,5
Poniente 3										60,0	48,8							
Poniente 7							41,8	68,3	71,6	76,5	49,1	34,9						
Poniente 9								158,3	109,9	124,2	99,2	69,4		115,3				
Poniente 11										105,3								
Poniente 13															63,4	55,4	37,0	23,8
Poniente 16																	72,9	46,0
Pueblo Nuevo 1		107,6	90,4	85,1	93,1	47,7	38,5	76,9	75,5	78,5	58,6	45,2	42,2	70,3	111,9	117,6	67,0	46,0
Pueblo Nuevo 6							36,7			94,6	63,3	45,9	31,0	82,0	98,4	107,7	57,8	36,3
Pueblo Nuevo 7									15,2	35,0	25,8	21,4	16,0	36,4	40,6	42,0	22,4	16,3
Pueblo Nuevo 8										99,7	60,2	45,9		53,3	84,4	87,1	49,6	32,6
Santa Rosa 1	168,3	240,0	133,3	132,2	136,3	71,3	56,2	98,1	102,6	104,9	80,4	58,5	31,6	74,9	80,9	78,1	51,9	35,5
Santa Rosa 2							46,0			114,9	96,5	77,0			107,3	108,3	63,0	40,5
Universidad 1	54,6	68,7	51,8	72,7	55,0	26,6	27,4			61,2	47,8	34,5	20,5	59,9	66,3	71,1	39,0	22,8
Universidad 2							57,7			132,2								
Universidad 3							44,3	109,8	80,7	109,5	97,0	61,2					56,0	32,4
Universidad 5							74,8	160,3	157,0	175,6	149,4	101,6	55,9	149,0	166,7			
Universidad 7									59,9	94,6	71,2	50,5	27,4	69,0	84,6	95,1	55,5	35,1

Tabla 7. Valores mensuales de MP_{2,5} por estación. Fuente: elaboración propia.

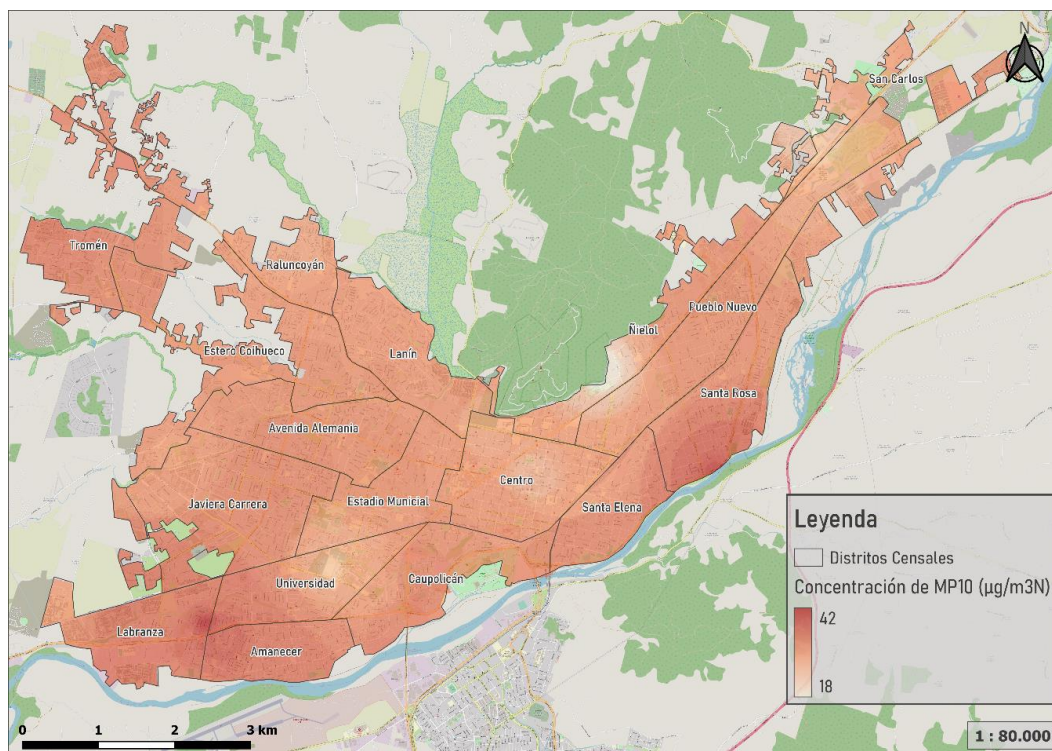


Figura 5. Distribución de MP10 durante los meses de otoño-invierno del 2019 al 2021 en Temuco.
Fuente: elaboración propia

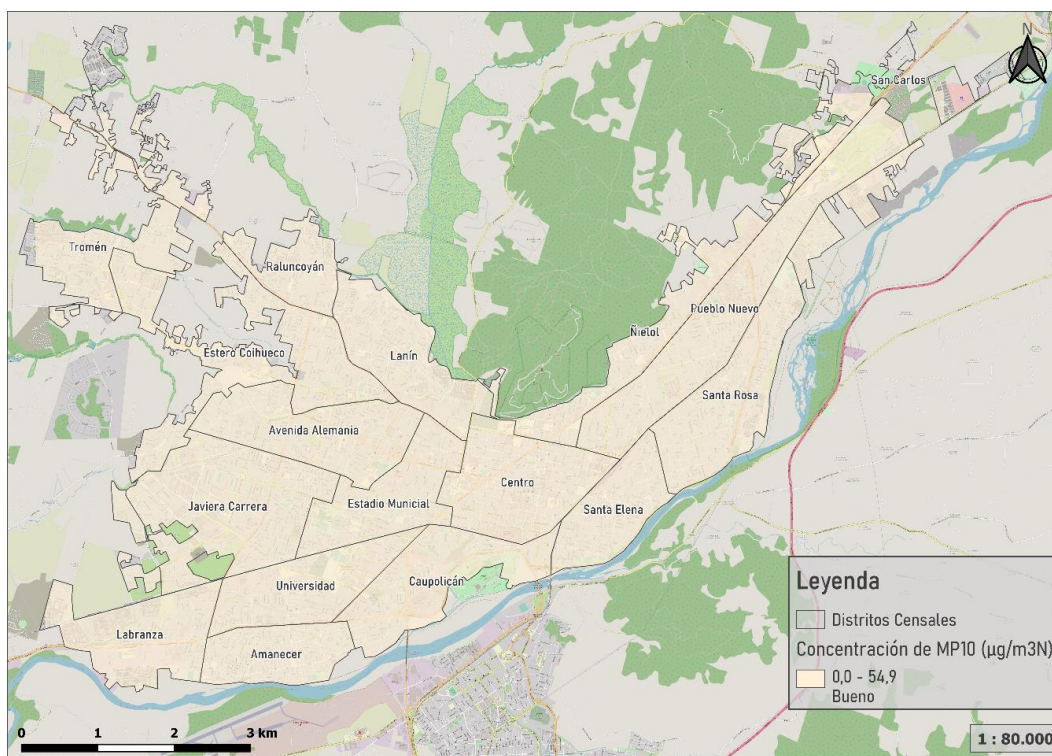


Figura 6. Distribución promedio de MP10 por rangos (calidad del aire) durante los meses de otoño-invierno del 2019 al 2021 en Temuco. *Fuente: elaboración propia*

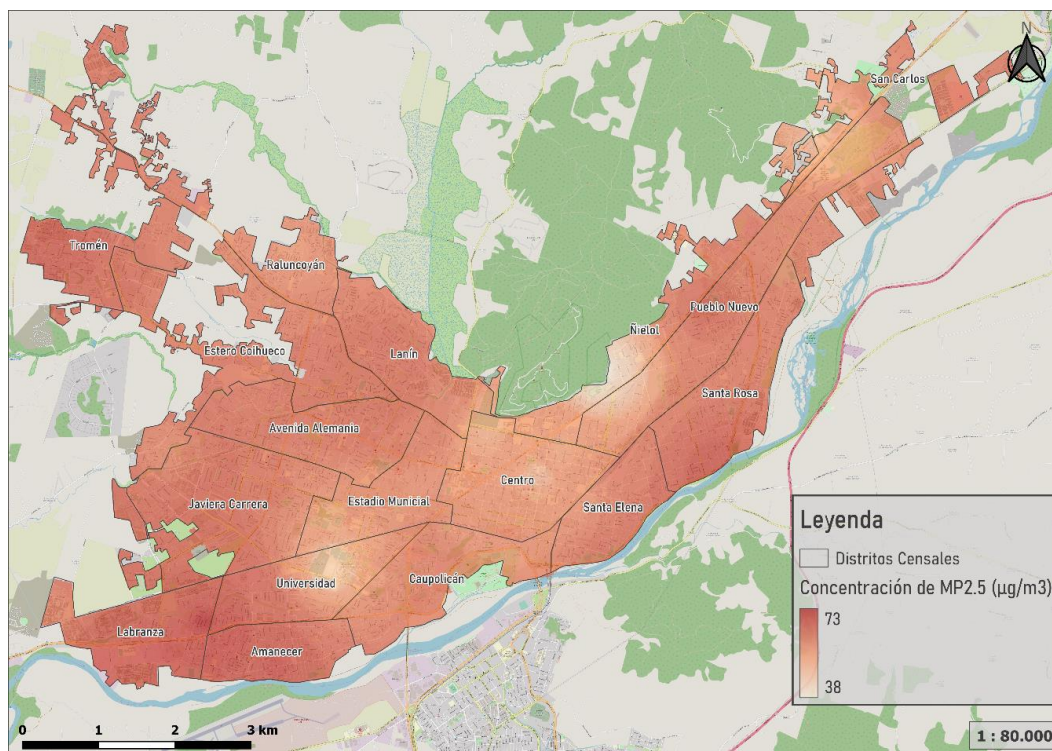


Figura 7. Distribución de MP10 durante los meses de otoño-invierno del 2019 al 2021 en Temuco.
Fuente: elaboración propia

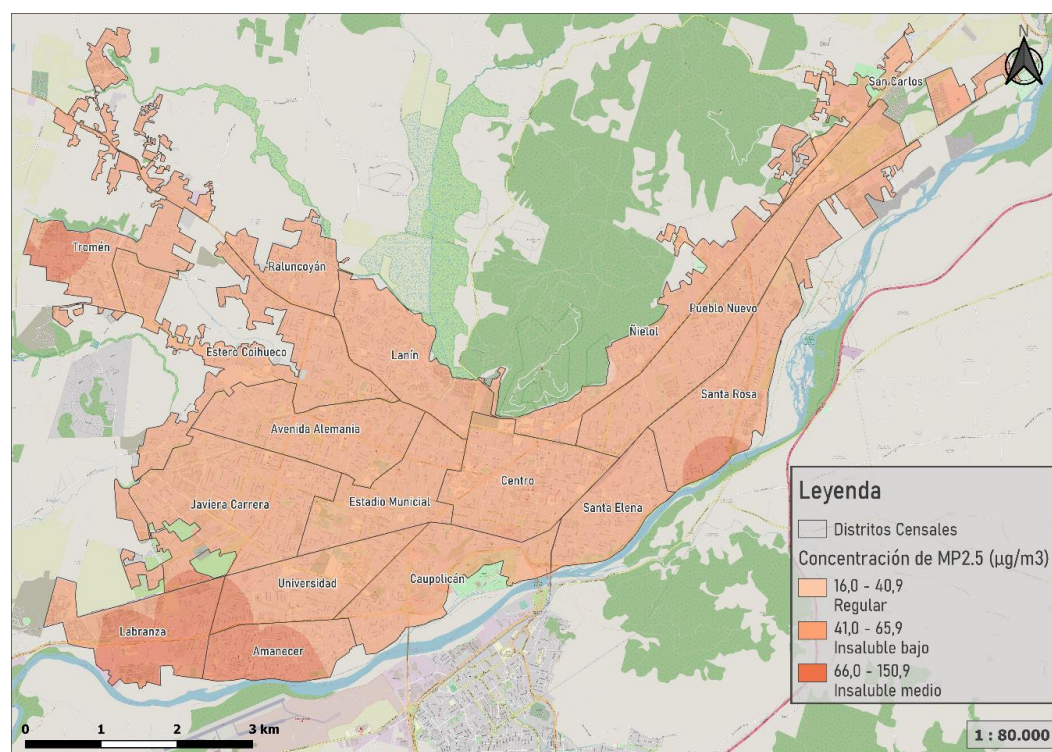


Figura 8. Distribución promedio de MP2.5 por rangos (calidad del aire) durante los meses de otoño-invierno del 2019 al 2021 en Temuco. *Fuente: elaboración propia*

Para determinar las áreas urbanas con mayor contaminación por MP10 y MP2,5 se utilizaron los criterios de clasificación de la EPA por MP aplicados anteriormente en los mapas de las figuras 6 y 8. Considerando para estas, las áreas urbanas con peor calidad del aire por M2,5 de acuerdo con el mapa de la figura 8. Es decir, las áreas con calidad del aire "Insalubre medio".

En el caso del MP10, como se mencionó anteriormente, en el mapa de la figura 6 no existe algún área en Temuco que se diferencie por no tener una calidad del aire "buena". Por lo tanto, a través de la capa espacial raster del mapa de la figura 5, se procedió a extraer el percentil 90 del valor de MP10 de aquella capa raster. Es decir, todas las áreas que obtuvieron un valor de MP10 igual o superior a $36 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$. Obteniendo posteriormente como resultado el mapa del anexo 55. Siendo esta, las áreas con mayor contaminación y peor calidad del aire por MP10.

Posteriormente, tras obtener las áreas con mayor concentración de MP10 y MP2,5 se cruzaron ambas capas a través del geoprocésamiento vectorial de "intersección" en Qgis. Donde finalmente se pudieron identificar 2 áreas con mayor contaminación en la ciudad (figura 9). Estas áreas identificadas corresponden a los sectores o barrios con peor calidad del aire por MP para la temporada de otoño-invierno.

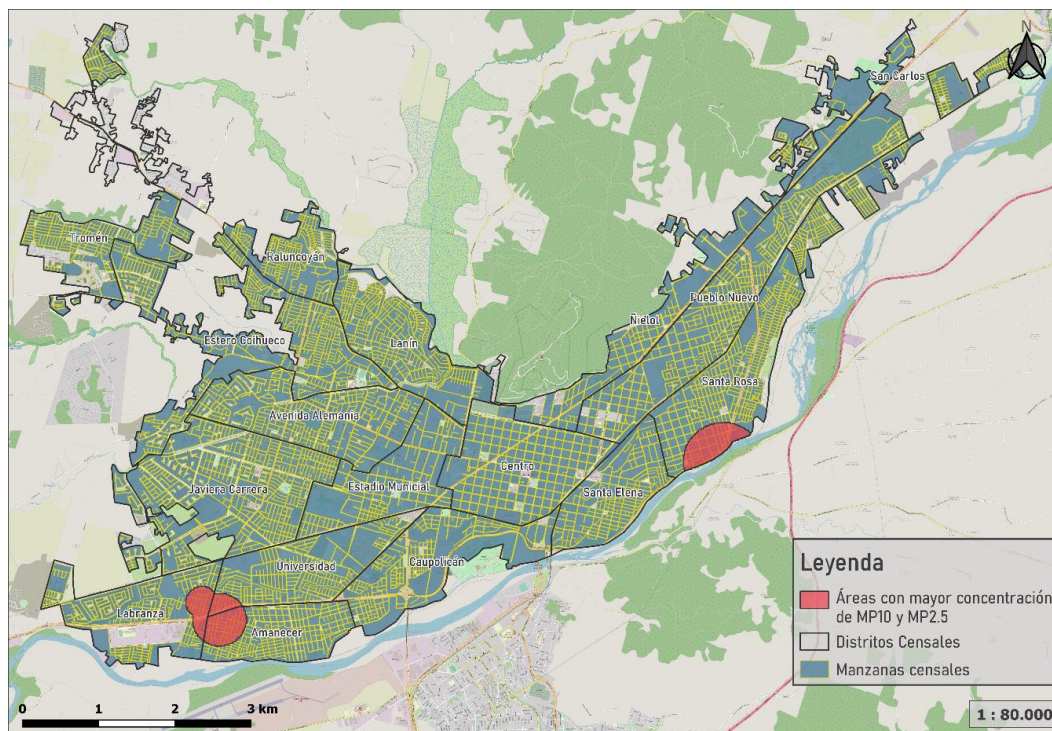


Figura 9. Áreas identificadas con mayor concentración de MP en los meses de otoño-invierno en Temuco.

Fuente: elaboración propia

Las 2 áreas identificadas (figura 10) corresponden en detalle a:

1. El sector de Vista verde-amanecer, en los alrededores de las intersecciones de las avenidas Manuel Recabarren y Javiera Carrera. En la triple intersección de los distritos de Amanecer, Universidad y Labranza en el suroeste de Temuco. Esta área cuenta con 0,462 km².

2. El sector de Santa rosa bajo, localizada en los alrededores de las intersecciones de las avenidas Valparaíso y avenida Costanera en la zona oriente de la ciudad, colindante el río Cautín. Esta área cuenta con 0,305 km².



Figura 10. Las 2 áreas (o sectores) identificadas con mayor concentración de MP en los meses de otoño-invierno en Temuco. *Fuente: elaboración propia*

Análisis estadístico sociológico de las áreas de mayor contaminación por MP10 y MP2,5

A las 5 variables sociológicas y demográficas consideradas de la capa espacial de manzanas censales 2017 del INE y convertidas posteriormente en tasas (%): tasa de masculinidad, la tasa de población menor de 5 años, la tasa de población adulta mayor, la tasa de población que se considera indígena y la tasa de población inmigrante, se clasificaron en rangos categóricos de intervalos por manzana para la visualización espacial, en los mapas de las figuras 11 al 15, de las brechas sociales existentes entre las 2 áreas o sectores con mayor contaminación por MP (Vista verde-amanecer y Santa Rosa bajo) y el área urbana completa de Temuco.

También existen brechas sociales, aunque menores, dentro y alrededor de los sectores de Vista verde-amanecer y Santa Rosa bajo como los que se pueden visualizar en los mapas desde el anexo 56 al 60.

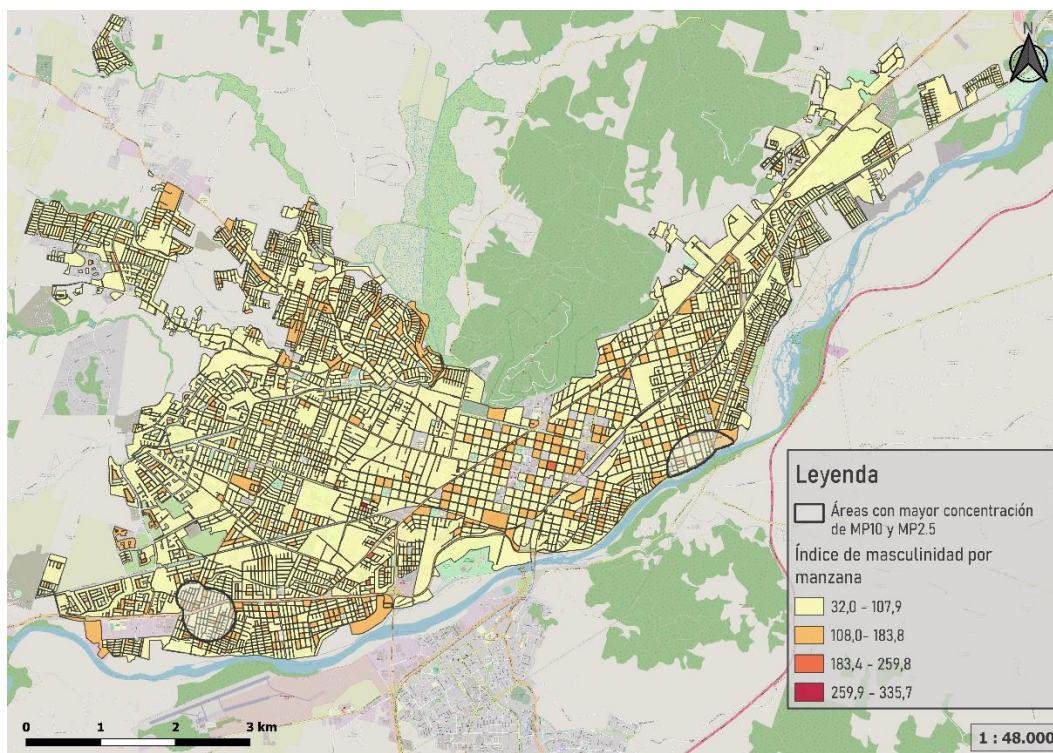


Figura 11. Mapa coroplético del índice de masculinidad por manzana en Temuco.
Fuente: elaboración propia a partir de datos del INE (2017).

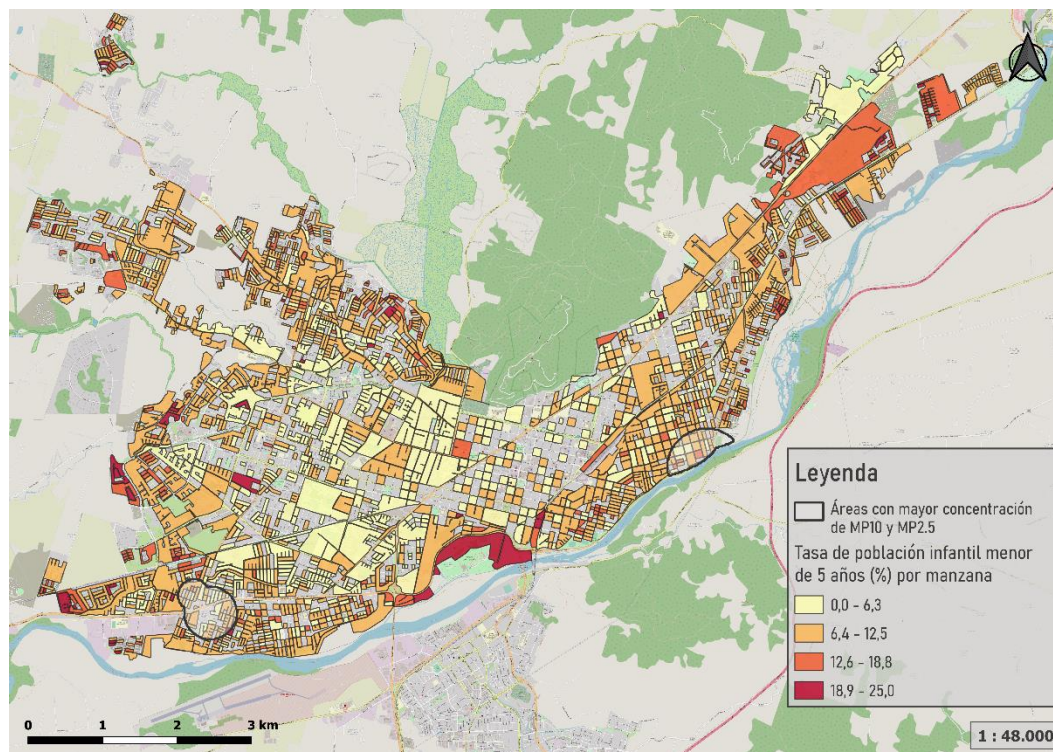


Figura 12. Mapa coroplético de la tasa de población infantil menor de 5 años por manzana en Temuco.
Fuente: elaboración propia a partir de datos del INE (2017).

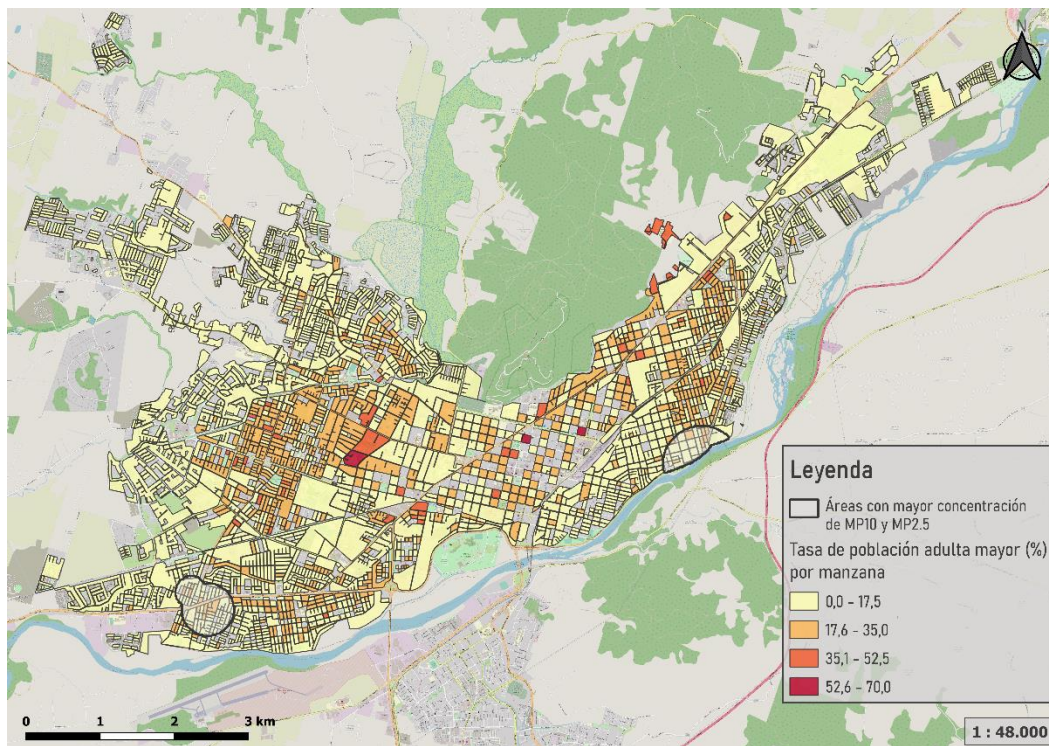


Figura 13. Mapa coroplético de la tasa de población adulta mayor por manzana en Temuco.
Fuente: elaboración propia a partir de datos del INE (2017).

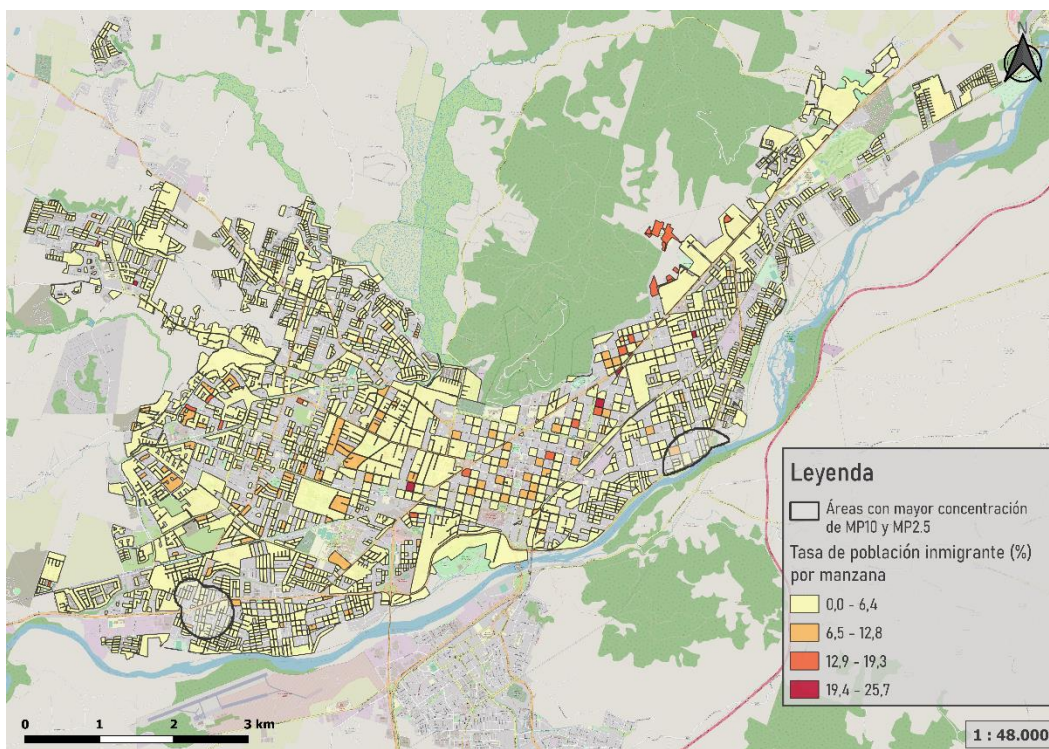


Figura 14. Mapa coroplético de la tasa de población inmigrante por manzana en Temuco.
Fuente: elaboración propia a partir de datos del INE (2017).

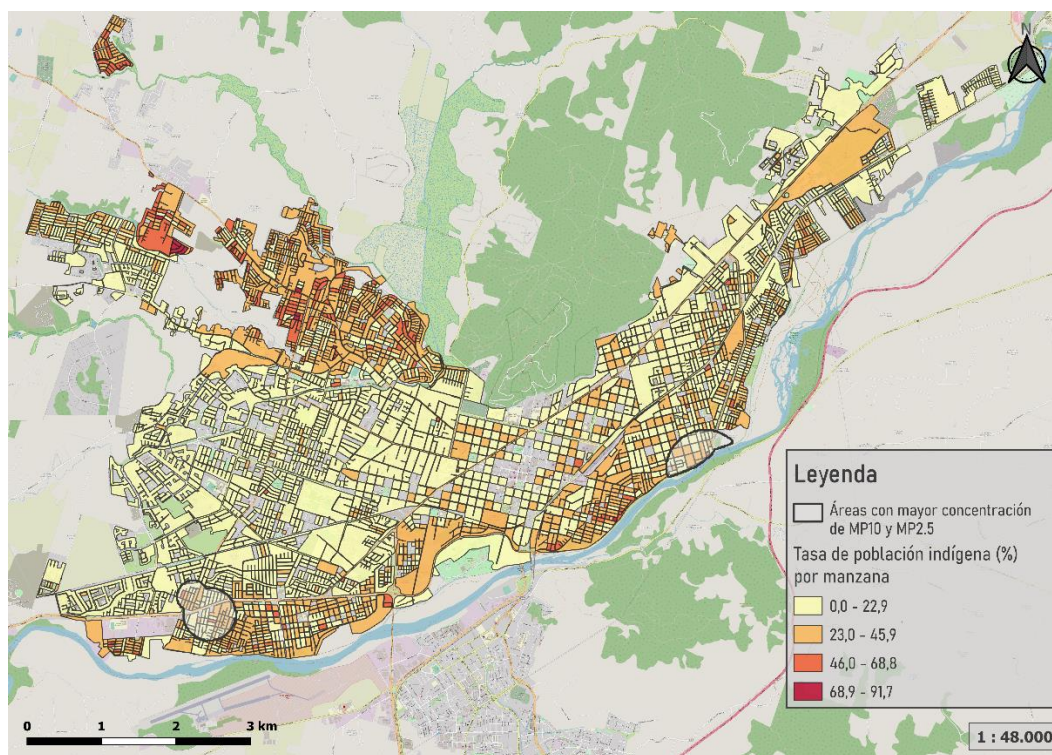


Figura 15. Mapa coroplético de la tasa de población auto-considerada indígena por manzana en Temuco.

Fuente: elaboración propia a partir de datos del INE (2017).

De estos mapas coropléticos de las variables sociológicas y demográficas, visualmente se puede afirmar como las áreas identificadas con mayor contaminación por MP no están dentro de los sectores con mayor índice de masculinidad ni mayor tasa de población adulta mayor y población inmigrante a diferencia de otros sectores de la ciudad. Por ejemplo, el sector de avenida Alemania que con alta tasa de población adulta mayor (figura 13).

En cambio, para las tasas de población menor e indígena se observan valores más altos que en las variables anteriores, pero en ningún caso tampoco figuran entre los sectores más destacados. Como por ejemplo el sector de Pedro de Valdivia en el Noroeste de la ciudad con una alta tasa de población indígena en el mapa de la figura 15.

Para una comparación más exacta se aplicó una comparación estadística entre las variables sociológicas y demográficas. Específicamente una comparación de medias en SPSS entre la tasa de masculinidad, la tasa de población menor de 5 años, la tasa de población adulta mayor, la tasa de población que se considera indígena y la tasa de población inmigrante para las 3 áreas geográficas urbanas en cuestión (tabla 8,9 y 10).

	Tasa masculinidad	Tasa menores de 5 años	Tasa adulto mayor	Tasa inmigrantes	Tasa indígenas
N*	2651	1471	1915	1669	2338
Media	91,5762	8,1134	14,4310	1,0441	22,6751

Mediana	89,500000	7,7000	13,8000	,0000	20,3000
Mediana agrupada	89,575000	7,7242	13,8480	,1556	20,2778

*N representa el número de manzanas

Tabla 8. Análisis comparativo de medias obtenidas por manzanas entre las variables sociológicas y demográficas en Temuco. *Fuente:* elaboración propia con datos del INE (2017).

	Tasa masculinidad	Tasa menores de 5 años	Tasa adulto mayor	Tasa inmigrantes	Tasa indígenas
N*	79	51	66	52	74
Media	95,331646	7,6490	13,1545	,6231	23,3554
Mediana	92,600000	7,1000	12,5500	,0000	21,6000
Mediana agrupada	92,600000	7,0667	12,5500	,1600	21,6000

*N representa el número de manzanas

Tabla 9. Análisis comparativo de medias obtenidas por manzanas entre las variables sociológicas y demográficas en Vista verde – Amanecer. *Fuente:* elaboración propia con datos del INE (2017).

	Tasa masculinidad	Tasa menores de 5 años	Tasa adulto mayor	Tasa inmigrantes	Tasa indígenas
N*	35	27	32	18	33
Media	93,0229	8,3370	15,5656	,5556	20,6424
Mediana	91,500000	8,0000	14,8500	,0000	20,8000
Mediana agrupada	91,500000	8,0000	14,8500	,2941	20,8000

*N representa el número de manzanas

Tabla 10. Análisis comparativo de medias obtenidas por manzanas entre las variables sociológicas y demográficas en Santa Rosa bajo. *Fuente:* elaboración propia con datos del INE (2017).

Finalmente se extrajo el valor de la mediana agrupada (dado presencia de varias manzanas sin datos en algunas variables) para comprar estos parámetros sociológicos y demográficos entre las 3 áreas urbanas en la tabla 11.

	Temuco	Área vista verde - amanecer	Área santa rosa bajo
Índice de masculinidad	89,58	92,6	91,5
Tasa de pob. menor de 5 años	7,72	7,07	8
Tasa de pob. adulta mayor	13,85	12,55	14,85
Tasa de pob. inmigrante	0,16	0,16	0,29
Tasa de pob. indígena	20,28	21,6	20,8

Tabla 11. Análisis comparativo de la mediana obtenida de las variables sociológicas por manzanas entre la ciudad, el área de Vista Verde-Amanecer y el área de Santa Rosa Bajo. *Fuente:* elaboración propia con datos del INE (2017).

Se observa en la tabla, de todas las variables, solo la población indígena y el índice de masculinidad son mayores en ambas áreas de mayor contaminación por MP que en la ciudad. Es decir, se comprueba que estos sectores con peor calidad del aire por MP cuentan con una leve mayor

cantidad de población autodenominada indígena y población de género masculino que en el resto de la ciudad.

Se destaca una brecha significativa en la cantidad de población inmigrante entre la ciudad y el sector de Santa Rosa Bajo que casi duplica su valor. Sin embargo, ninguno de estas 2 áreas de mayor contaminación cuenta con una población inmigrante menor al resto de las manzanas de la ciudad, por lo que se afirma que la población inmigrante no respira mejor aire que los temuquenses. Pues, viven en sectores con mayor contaminación como el área de Santa Rosa bajo.

En cuanto a la población menor infantil y adulta mayor, son muy similares entre ambas áreas de mayor contaminación y la ciudad. En la que el sector de Santa Rosa Bajo, destaca con mayor cantidad de población menor de 5 años y adulta mayor. Pero al mismo, el sector de Vista verde-amanecer cuenta con la menor población de estas 2 variables incluso por debajo de Temuco en ambas.

Finalmente se observa que estas áreas identificadas como las más contaminadas por MP, se caracterizan por contar con una cantidad de población vulnerable levemente mayor que en el resto de la ciudad a diferencia del género. Principalmente por el sector de Santa Rosa bajo, que cuenta mayor cantidad de población adulta mayor, inmigrante e indígena que el resto de la ciudad.

Análisis descriptivo y comparativo estructural de la vivienda en las áreas de mayor contaminación por MP10 y MP2,5.

Estructuralmente estas áreas o barrios identificados en Temuco cuentan con viviendas de variadas características estructurales y materialidad de acuerdo a la clasificación del INE (2017) mostrada en la tabla 5 (en esa tabla se muestra el nombre de cada abreviación de las variables de materialidad). El área de mayor contaminación en Vista Verde-Amanecer concentran un total de 2.543 viviendas y en Santa Rosa Bajo, un total de 1.054 viviendas.

Según los tipos de viviendas, en la tabla 12, la vivienda tipo “casa” es mayoritariamente predominante en ambas áreas y en el resto de la ciudad, con un número de 2.436 viviendas y 95,8% en Vista Verde-Amanecer y un 94,5% en Santa Rosa. En el resto de la ciudad, esta cifra desciende a 81,4% dado a que el segundo tipo de vivienda que más abunda son del tipo departamento que ocupan un total 16,2% correspondiente a 14.235 viviendas mientras que los departamentos en el área de Vista verde-Amanecer ocupan solo un 1,5% del total y menos solo un 0,5% en Santa Rosa Bajo. En este último sector, el segundo tipo de vivienda más común son las de “tipo mediagua-mejora-rancho” con un número 29 viviendas, representando un 2,8%. Ambas áreas con mayor contaminación no cuentan con viviendas tradicionales indígenas ni tipo móvil.

	Vista verde - amanecer		Santa Rosa bajo		Temuco	
VIV_TIPO_C	2436	95,8%	996	94,5%	71551	81,4%
VIV_TIPO_D	38	1,5%	5	0,5%	14235	16,2%
VIV_TIPO_T	0	0%	0	0%	5	0,006%
VIV_TIPO_P	15	0,6%	10	0,9%	607	0,7%
VIV_TIPO_M	24	0,9%	29	2,8%	420	0,5%
VIV_TIPO_1	0	0%	0	0%	24	0,03%

VIV_TIPO_0	30	1,2%	14	1,3%	1098	1,2%
Total viviendas	2543		1054		87940	

Tabla 12. Clasificación por tipo infraestructura de la vivienda en vista verde- amanecer y Santa Rosa Bajo.
Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a la materialidad de las paredes externas de la vivienda (tabla 13), para el área de Vista Verde – Amanecer casi el 60% de sus viviendas cuentan con paredes de materialidad de albañilería “bloque de cemento-piedra” o “ladrillos”. Para el caso del área de Santa Rosa Bajo y el resto de la ciudad, las paredes que más frecuentan son las de tipo “tabique forrado por ambas caras (madera o acero)”. Aunque con una brecha significativa, pues este tipo de materialidad en las viviendas de Santa Rosa Bajo se presenta en la mayoría de las viviendas con el 66% (638 unidades), mientras que en Temuco solo representan un 40%. El segundo tipo de materialidad que más frecuentan las paredes de las viviendas en Vista Verde – Amanecer es el “tabique forrado por ambas caras” con 550 viviendas representando un 23,4%, en Santa Rosa el “tabique sin forro interior (madera u otro)” con un 14,1% y en Temuco el “bloque de cemento-piedra” o “ladrillos”. Con respecto a las paredes de hormigón armado representan el 20,4% de las viviendas de la ciudad, pero solo el 13,1% en Vista Verde – Amanecer y 5,3% (solo 51 viviendas) en Santa Rosa Bajo.

	Vista Verde - Amanecer		Santa Rosa bajo		Temuco	
VIV_PARED	307	13,1%	51	5,3%	15921	20,4%
VIV_PARE_1	1388	59,1%	125	12,9%	24410	31,4%
VIV_PARE_2	550	23,4%	638	66%	31144	40%
VIV_PARE_3	97	4,1%	136	14,1%	5723	7,4%
VIV_PARE_4	2	0,1%	0	0%	73	0,1%
VIV_PARE_5	3	0,1%	16	1,7%	583	0,7%
Total registrados	2347		966		77854	

Tabla 13. Clasificación por tipo de techo de la vivienda en vista verde- amanecer y Santa Rosa Bajo.
Fuente: elaboración propia.

Finalmente, según la materialidad de los techos de las viviendas (tabla 14), en el área de Vista Verde – Amanecer la gran mayoría presenta techo de “planchas metálicas de zinc”. 2.145 viviendas representando un 91,5% del total. Situación similar se observa para Santa Rosa Bajo (96,8%) y el resto de la ciudad (78,7%). En los 3 lugares, el segundo tipo de techo más común es el de “tejas o tejuelas de arcilla-metálicas de cemento” con un 13,6% en Temuco, pero solo un 7,8 en Vista Verde – Amanecer y 2,7% de Santa Rosa Bajo. Ambas áreas de mayor contaminación presentan casi nula cantidad de viviendas con techo “losa hormigón” a diferencia de Temuco, que este valor alcanza un 7,2%. Pudiéndose deber esto, a la escasez de edificios de departamentos residenciales en Vista Verde – Amanecer y, sobre todo, en Santa Rosa Bajo.

	Vista verde - amanecer		Santa Rosa bajo		Temuco	
VIV_TECNO	182	7,8%	26	2,7%	10605	13,6%
VIV_TECH_1	6	0,3%	1	0,1%	5561	7,2%
VIV_TECH_2	2145	91,5%	933	96,8%	61132	78,7%
VIV_TECH_3	10	0,4%	0	0%	183	0,2%
VIV_TECH_4	0	0%	0	0%	3	0,004%
VIV_TECH_5	0	0%	4	0,4%	166	0,2%

VIV_Tech_6	0	0%	0	0%	48	0,06%
Total registrados	2343		964		77698	

Tabla 14. Clasificación por tipo de pared de la vivienda en vista verde- amanecer y Santa Rosa Bajo.

Fuente: elaboración propia.

Por tanto, en resumen, la mayoría de las viviendas, ubicadas al interior del área de mayor contaminación por MP en el sector de Vista Verde y Amanecer, son del tipo casa con paredes de "bloque de cemento-piedra o ladrillo" y otras en menor cantidad de "tabique forrado por ambas caras (madera o acero)" y de hormigón armado. El techo de estas viviendas en su gran mayoría se compone de planchas de zinc.

Se puede constatar visualmente estos análisis descriptivos en las siguientes imágenes.



Imagen 1. Toma fotográfica de viviendas en calle Las Perdices, Vista Verde.

Fuente: Google Maps (2022)



Imagen 2. Toma fotográfica de viviendas en calle Plutón, Amanecer.

Fuente: Google Maps (2022)

Para el área de mayor contaminación que abarca el sector bajo de Santa Rosa, la mayoría de las viviendas presentes allí son del tipo casa son del tipo casa con paredes de tabique forrado por ambas caras (madera o acero) y algunas pocas de "bloque de cemento-piedra o ladrillo" y de tabique sin forro interior (madera u otro). En cuanto al techo de estas viviendas la gran mayoría son de planchas de zinc.

Se puede constatar visualmente estos análisis descriptivos en las siguientes imágenes.

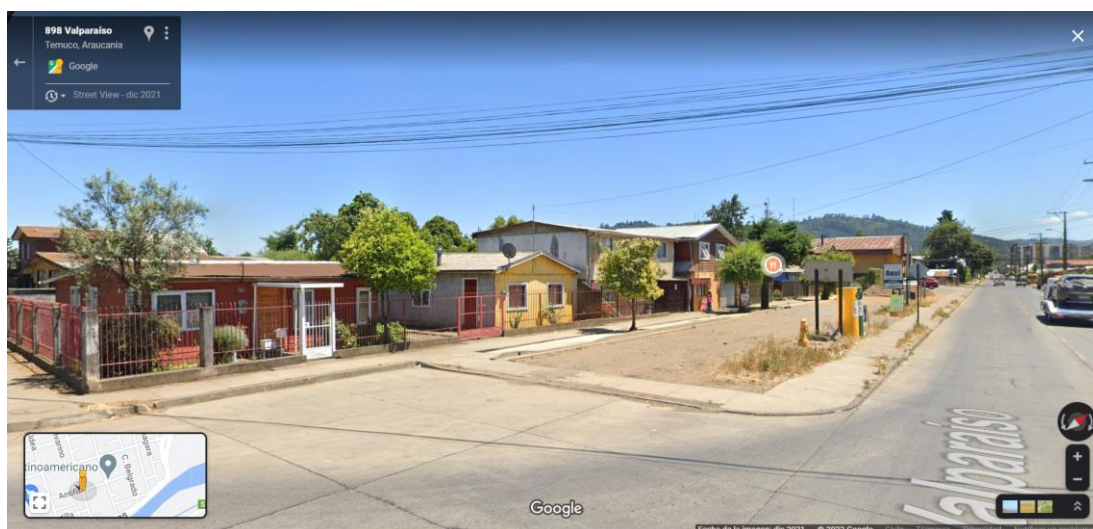


Imagen 3. Toma fotográfica de viviendas en Avenida Valparaíso esquina Antifil, Santa Rosa.
Fuente: Google Maps (2022)



Imagen 4. Toma fotográfica de viviendas en calle Antifil, Santa Rosa.
Fuente: Google Maps (2022)

Finalmente, en las imágenes 5 y 6 se puede observar algunos de los tipos de viviendas presentes en sectores con la mejor calidad del aire por MP según los mapas de las figuras 5 y 7, como el sector Ñielol, Las Mariposas en el distrito censal de San Carlos en el acceso Norte de Temuco o el Campus Bello de la UFRO. Aunque, en esta última casi no se presentan viviendas, si no áreas verdes y edificios de complejo de aquella institución universitaria (imagen 7).



Imagen 5. Toma fotográfica de viviendas en calle 12 de febrero esquina Ecuador, Sector Ñielol.
Fuente: Google Maps (2022)

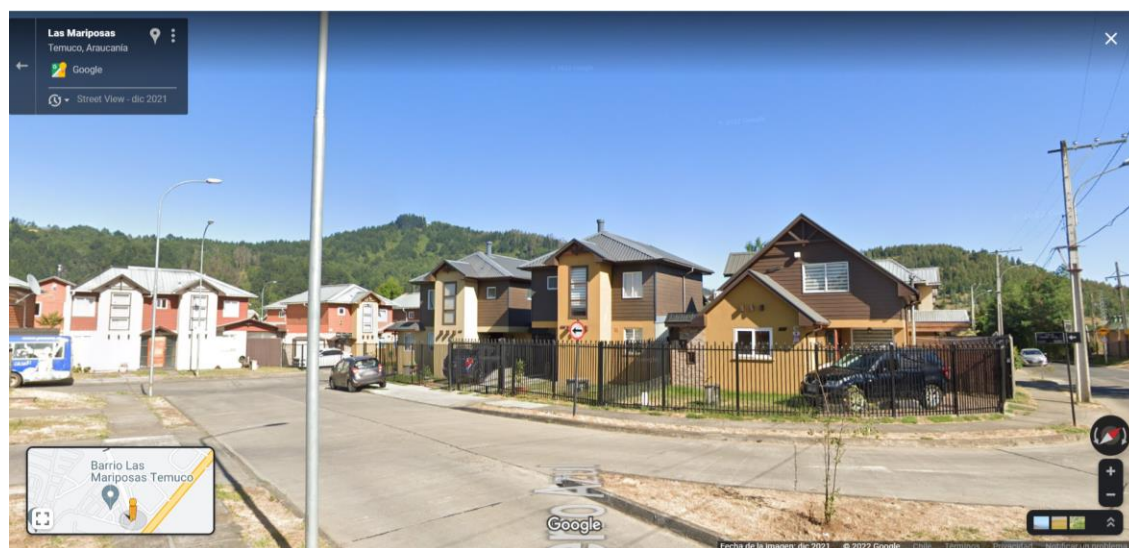


Imagen 6. Toma fotográfica de viviendas en acceso de villa Las Mariposas I, Sector Norte Temuco.
Fuente: Google Maps (2022)



Imagen 7. Toma fotográfica de calle Uruguay, sector UFRO.
Fuente: Google Maps (2022)

Discusión

El comportamiento temporal intermensual del MP₁₀ y MP_{2,5} para los 3 años considerados en esta investigación reflejan una cierta estacionalidad. Esto porque, como se observó en las tablas 6 y 7, la calidad del aire en la mayoría de las estaciones va en ascenso del mes de abril al mes de mayo y en descenso de agosto a septiembre. Lo que se podría deducir que hacia los meses de primavera y verano disminuyen los niveles de MP en toda la ciudad. Una causa de esto sería las condiciones meteorológicas que tienen una incidencia significativa sobre el MP (tanto el MP₁₀ como el MP_{2,5}) en donde parámetros como la presión atmosférica y la oscilación térmica aumentan las concentraciones de MP mientras que la temperatura, las precipitaciones, la humedad y la velocidad del viento se correlacionan negativamente con estas concentraciones (Li et al., 2019; Soares et al., 2019; Yañez et al., 2017). Y otra causa sería una mayor demanda en el uso de leña y combustibles fósiles en los meses de menores temperaturas para la calefacción de las viviendas (Boso et al, 2020; Schueftan et al., 2016).

En el comportamiento espacial de la concentración de MP, se destaca los niveles considerables de MP_{2,5} durante todos los meses considerados, incluyendo septiembre. En el mapa de la concentración total de MP_{2,5} en Temuco, que corresponde a la suma espacial de los mapas de los 18 meses en cuestión, se puede observar que ningún sector o área de Temuco cuenta con niveles óptimos de MP_{2,5} para la temporada de otoño-invierno de estos años (2019-2021). Donde gran parte de la ciudad cuenta con niveles bajo de insalubridad y para los distritos censales de Labranza, Amanecer, los barrios o sectores de Santa Elena de Maipo, Vista Verde, el sector poniente de Amanecer y el sector sur de Santa Rosa, cuentan con niveles más elevados de insalubridad. Esto no deja de ser preocupante respecto a la salud de la población, considerando que el MP_{2,5} suele ser más dañino para el sistema respiratorio que el MP₁₀ (Thompson, 2018; IQair, 2020).

Otro aspecto a destacar sobre el comportamiento espacial de la concentración de MP en Temuco (figuras 5, 6, 7 y 8) son los factores locales que podrían influir en la concentración de MP como son la presencia de áreas verdes urbanas. Dado que Junior et al. (2022) sugiere que las áreas verdes al interior de las ciudades pueden reducir los niveles de MP_{2,5} mejorando la calidad del aire, a diferencia de los lugares con menor cobertura vegetal. Y esto precisamente se puede verificar al observar los mapas de las figuras 5, 7, 8 y en los mapas del comportamiento espacial intermensual de la ciudad en los anexos. Ya que los sectores con mejor calidad del aire en la ciudad, resultaron ser sectores en los que se puede observar áreas verdes en su interior (a través del mapa base tras las capas espaciales de estas figuras) o en sus alrededores. Como en el caso del sector UFRO (imagen 7) en donde existen grandes paños de áreas verdes pertenecientes a la universidad, o el sector Nielol ubicado a los pies del cerro del mismo nombre o el acceso Norte de Temuco (imagen 5 y 6). En donde en este último se emplazan las áreas verdes del Campus San Francisco de la Universidad Católica de Temuco, Las Mariposas y cordón montañoso del Nielol.

Las áreas de mayor contaminación del aire por MP identificadas en Temuco son 2 (figuras 9 y 10). Una, en el sector de vista verde y amanecer poniente (denominada Vista verde-Amanecer), en los alrededores de la intersección de las avenidas Javiera Carrera y Manuel Recabarren. En el límite de las intersecciones de los distritos censales de Amanecer, Universidad y Labranza. La otra área identificada, se localiza en el distrito censal y sector de Santa Rosa, específicamente en el sector bajo cerca del río cautín. En los alrededores de la intersección de las avenidas Valparaíso y Costanera.

Se puede corroborar al observar las figuras 6, 8 y 10, las imágenes del 1 al 4 y los anexos 56 al 60, que ambas áreas cuentan con baja cobertura vegetal o áreas verdes. Lo que se corrobora nuevamente lo señalado por Junior et al. (2022). Esto sería un factor causante del porque en estas áreas existe mayor concentración de MP.

Otro factor que podría explicar la causa de estas áreas con mayor contaminación puede ser la delimitación de los polígonos de restricción para el uso de leña impulsados por el Ministerio del Medio Ambiente junto al PDA para el MP₁₀ actualizado el 2015 y el PDA para el MP_{2,5} impulsado el mismo año (BCN, 2015). Dado que ambas áreas se localizan fuera de estos polígonos de restricción al interior de la ciudad de Temuco. Lo que se podría señalar que, al no haber restricción ambiental en estos sectores, puede haber peor calidad del aire con respecto a los sectores que sí cuentan con restricción. Tal como se visualiza en el siguiente mapa de la figura 16.

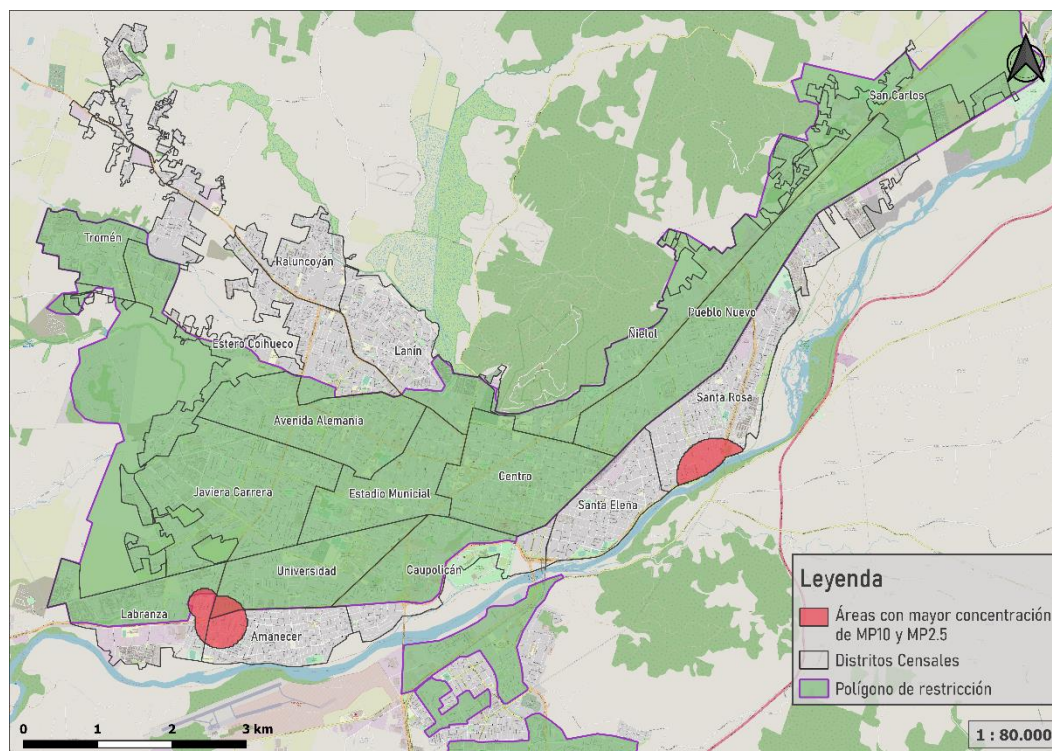


Figura 16. Mapa coroplético que contrasta las áreas con mayor concentración de MP identificadas y el polígono general de restricción ambiental en Temuco. *Fuente:* elaboración propia a partir de datos del INE (2017).

Respecto a las caracterizaciones sociológicas y demográficas de las áreas identificadas anteriormente, no se pudo comprobar y aseverar que la población mayor de 60 años en Temuco respira peor calidad del aire por MP que población con otro rango de edad como señaló Ma et al (2019) para Beijing. Dado que al comparar la Tasa de población Adulta mayor entre Temuco y estas áreas, apenas se evidencio una leve diferencia de este segmento de población entre Santa Rosa Bajo (14,9%) y el 13,9% de todo Temuco. Sin embargo, respecto a la tasa de población inmigrante sí existe similitud en los resultados con Ma et al (2019). Pues, a pesar que Temuco y el área Vista-Verde Amanecer cuentan con la misma tasa de población inmigrante (0,16%) para Santa Rosa Bajo este valor casi se duplica en un (0,29%), aunque la diferencia no es significativa.

Uno de los grupos de población que evidencia mayor vulnerabilidad por mala calidad del aire por MP, según los resultados de la tabla 11, es la población denominada o autodenominada indígena. Pues esta variable cuenta con mayor presencia de población en ambas áreas de mayor contaminación, con un 21,6% en Vista Verde-Amanecer y un 20,8% en Santa Rosa Bajo, respecto a Temuco (20,3%). Aunque la diferencia tampoco es considerable, tomando en consideración que la mayor tasa de población indígena (según el mapa de la figura 15) se localiza en el sector de Pedro de Valdivia, en los distritos censales de Lanín y Raluncoyán. Otro de los grupos de población más vulnerable en este caso, es la población masculina. Ambas áreas de contaminación cuentan con mayor índice de masculinidad que el resto de la ciudad.

Al abarcar la estructura de las viviendas de estas áreas identificadas, no existen grandes diferencias en la materialidad del techo entre las viviendas de las áreas de Vista Verde – Amanecer y Santa Rosa Bajo, con el resto de Temuco. Pues la gran mayoría resultó ser de techo compuesto por planchas de

zinc. Sin embargo, al abarcar la materialidad de las paredes, Vista Verde- Amanecer se caracterizó por contar con una mayoría de sus viviendas con paredes más sólidas que en el resto de la ciudad. Es decir, de bloque de cemento-piedra o ladrillos. Ya que en el resto de la ciudad el tipo de pared más frecuentes es de tabique forrado por ambas caras de madera o acero, al igual que en Santa Rosa Bajo. Sin embargo, lo que hay que destacar de este último sector es que el segundo tipo de pared más frecuente para el 14% viviendas resultó ser de tabique sin forro interior de madera u otro, es decir, una pared con menor grosor y recubrimiento con respecto al exterior. Lo que se podría interpretar en una menor aislación térmica y acústica para estas 136 casas en Santa Rosa Bajo, y, por ende, mayor emisión de gases contaminantes para poder temperar la vivienda en el caso de la leña. Pues, como señala Schueftan et al (2016), la materialidad y el aislamiento térmico de la vivienda es un factor determinante en la cantidad de emisión de gases contaminantes al exterior y la pobreza energética.

Hay que recordar que todos los datos sociológicos, demográficos y estructurales obtenidos del INE (2017) corresponde a información actualizada hasta ese año por el Censo de ese año. Por lo que hacia la actualidad puede que tanto datos de población como de materialidad de la vivienda considerados en esta investigación hayan variado levemente.

Finalmente, sería interesante aplicar este mismo estudio o algo similar, a la misma ciudad de Temuco por un período de tiempo similar, pero hacia otros años sin la interrupción de la cotidianidad provocada por la pandemia de COVID-19. Pues, 2 de los 3 años considerados en esta investigación fueron en Pandemia en donde hubo meses y semanas con cuarentenas, restricciones o simplemente la población evitaba salir de sus casas. En este aspecto, Pala et al. (2022) señalan que en Pavía (Italia) durante febrero 2020 la cantidad de MP en el aire fue levemente menor que el 2019 debido a la disminución del tráfico de automóviles y la actividad industrial debido al confinamiento. Por su parte, Slezakova y Carmo-Pereira (2021), señalan que, en los principales centros urbanos de Portugal se evidenció una baja más notoria en la concentración de MP en el aire los meses de confinamiento del 2020 que esos mismos meses en 2019 debido igualmente a la disminución de tráfico vehicular.

En el caso de Temuco, podemos señalar que al igual que en Pavía y Lisboa, hubo una disminución de MP en abril y mayo 2020 que ambos meses en 2019 viendo las tablas con los estadísticos descriptivos de la suma de todas las estaciones por mes en los anexos del 1 al 18. Por ejemplo, hubo una media de 73,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y una mediana 43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el MP_{2,5} para abril del 2019 y para abril de 2020 una media de 48,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y una mediana de 20,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el mismo contaminante. Lo que se podría señalar que el confinamiento del abril de 2020 trajo resultados positivos en cuando a calidad del aire. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, existen variables meteorológicas que pueden influir en la concentración MP en el aire. Lo que, para tener un escenario más exacto del comportamiento espacial del MP en Temuco, se sugiere poder aplicar este mismo estudio durante 3 o más años continuos, pero sin mayores interrupciones de movilidad social y cotidianidad, para así identificar las áreas con mayor contaminación en tiempos normales.

Conclusión

De acuerdo a los registros las estaciones de monitoreo de calidad del aire MP10 y MP2,5 pertenecientes al SINCA y a la UFRO en la ciudad de Temuco, durante el periodo de otoño-invierno, existen 2 áreas al interior de la ciudad con la mayor concentración de MP10 y MP2,5. Un área sobre el sector de Vista Verde y Amanecer, y otra sobre el sector de Santa Rosa Bajo. Ambos con una concentración media cercana a los cercanos a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP10 y registros cercanos o iguales a $73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el MP2,5. Mientras que en sectores como en los alrededores del cerro Ñielol y el campus de la UFRO, contaron con la mejor calidad del aire en la ciudad con una concentración media de $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP10 y $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP2,5. Concentraciones que sufren importantes variaciones entre abril y septiembre, siendo septiembre el mes con mejor calidad del aire. Al interior de estas áreas se hayan manzanas urbanas con realidades sociológicas y demográficas marcadas por un índice de masculinidad, tasa de población inmigrante y tasa de población denominada o autodenominada indígena levemente superior respecto al resto de la ciudad. Sin hallarse prácticamente mayor cantidad de población de adulto mayor con respecto al resto de la ciudad. Finalmente, las viviendas de estas áreas se caracterizan por ser en una gran mayoría de tipo casa, con una materialidad del techo que se compone de planchas de zinc y paredes de ladrillo en el sector de Vista Verde – Amanecer y, de tabique forrado de madera por ambas caras en el caso de Santa Rosa Bajo, en donde además, aquí se halló una cierta cantidad de viviendas con pared de tabique de madera sin forro interior, lo que se traduce en una falta de aislación térmica en más de 130 viviendas de este sector al menos al año 2017.

Anexos

Anexo 1. Estadísticos descriptivos de los registros de MP de abril 2019.

Estadísticos Abril 2019			
		MP10	MP2,5
N	Válido	9591	9592
	Perdidos	2735	2734
Media		78,2402	73,1063
Error estándar de la media		1,01101	,93356
Mediana		45,0000	43,0000
Moda		14,00	13,00
Desviación estándar		99,01173	91,43180
Varianza		9803,323	8359,773
Asimetría		3,297	3,281
Error estándar de asimetría		,025	,025
Curtosis		14,778	15,057
Error estándar de curtosis		,050	,050
Rango		998,00	998,00
Mínimo		2,00	2,00
Máximo		1000,00	1000,00
Percentiles	25	20,0000	19,0000
	50	45,0000	43,0000
	75	98,0000	93,0000

Anexo 2. Estadísticos descriptivos de los registros de MP de mayo 2019.

Estadísticos Mayo 2019			
		MP10	MP2,5
N	Válido	55450	54975
	Perdidos	21290	21765
Media		135,5293	125,0037
Error estándar de la media		,85834	,80745
Mediana		57,0000	52,0000
Moda		1000,00	1000,00
Desviación estándar		202,11960	189,32078
Varianza		40852,333	35842,356
Asimetría		2,776	2,942
Error estándar de asimetría		,010	,010
Curtosis		7,948	9,298

Error estándar de curtosis		,021	,021
Rango		1000,00	1000,00
Mínimo		,00	,00
Máximo		1000,00	1000,00
Percentiles	25	24,0000	22,0000
	50	57,0000	52,0000
	75	151,0000	140,0000

Anexo 3. Estadísticos descriptivos de los registros de MP de junio 2019.

Estadísticos Junio 2019			
		MP10	MP2.5
N	Válido	55579	55567
	Perdidos	21568	21580
Media		99,592	90,769
Error estándar de la media		,5919	,5256
Mediana		50,000	47,000
Moda		13,0	13,0
Desviación estándar		139,5455	123,8920
Varianza		19472,959	15349,238
Asimetría		3,345	3,314
Error estándar de asimetría		,010	,010
Curtosis		14,271	14,602
Error estándar de curtosis		,021	,021
Rango		1013,0	1000,0
Mínimo		,0	,0
Máximo		1013,0	1000,0
Percentiles	25	22,000	20,000
	50	50,000	47,000
	75	117,000	109,000

Anexo 4. Estadísticos descriptivos de los registros de MP de julio 2019.

Estadísticos Julio 2019			
		MP10	MP2.5
N	Válido	55226	55224
	Perdidos	20872	20874
Media		102,751	94,524
Error estándar de la media		,6319	1,3125

Mediana		49,000	46,000
Moda		11,0	10,0
Desviación estándar		148,5037	308,4459
Varianza		22053,340	95138,890
Asimetría		3,227	173,197
Error estándar de asimetría		,010	,010
Curtosis		12,638	36691,705
Error estándar de curtosis		,021	,021
Rango		1000,0	65535,0
Mínimo		,0	,0
Máximo		1000,0	65535,0
Percentiles	25	21,000	20,000
	50	49,000	46,000
	75	117,000	109,000

Anexo 5. Estadísticos descriptivos de los registros de MP de agosto 2019.

Estadísticos Agosto 2019			
		MP10	MP2.5
N	Válido	53377	53371
	Perdidos	35436	35442
Media		110,485	100,127
Error estándar de la media		,6500	,5734
Mediana		59,000	55,000
Moda		21,0	23,0
Desviación estándar		150,1726	132,4758
Varianza		22551,818	17549,847
Asimetría		3,218	3,200
Error estándar de asimetría		,011	,011
Curtosis		12,526	12,945
Error estándar de curtosis		,021	,021
Rango		1000,0	1000,0
Mínimo		,0	,0
Máximo		1000,0	1000,0
Percentiles	25	29,000	26,000
	50	59,000	55,000
	75	126,000	116,000

Anexo 6. Estadísticos descriptivos de los registros de MP de septiembre 2019.

Estadísticos Septiembre 2019			
		MP10	MP2.5
N	Válido	72732	72663
	Perdidos	24715	24784
Media		50,995	46,725
Error estándar de la media		,2963	,2625
Mediana		25,000	23,730
Moda		12,0	9,0
Desviación estándar		79,9139	70,7576
Varianza		6386,231	5006,638
Asimetría		4,590	4,259
Error estándar de asimetría		,009	,009
Curtosis		30,329	26,147
Error estándar de curtosis		,018	,018
Rango		1000,0	1000,0
Mínimo		,0	,0
Máximo		1000,0	1000,0
Percentiles	25	12,000	11,000
	50	25,000	23,730
	75	54,674	51,000

Anexo 7. Estadísticos descriptivos de los registros de MP de abril 2020.

Estadísticos abril 2020			
		MP10	MP2.5
N	Válido	113411	113478
	Perdidos	19524	19457
Media		52,007	48,565
Error estándar de la media		,3191	,3062
Mediana		22,000	20,282
Moda		3,0	2,0
Desviación estándar		107,4503	103,1478
Varianza		11545,562	10639,479
Asimetría		6,002	6,277
Error estándar de asimetría		,007	,007
Curtosis		43,909	48,387
Error estándar de curtosis		,015	,015
Rango		1000,0	1000,0

Mínimo		,0	,0
Máximo		1000,0	1000,0
Percentiles	25	9,000	8,000
	50	22,000	20,282
	75	51,590	48,000

Anexo 8. Estadísticos descriptivos de los registros de MP de mayo 2020.

Estadísticos Mayo 2020			
		MP10	MP2.5
N	Válido	92246	92245
	Perdidos	15067	15068
Media		88,187	81,944
Error estándar de la media		,4206	,3835
Mediana		46,000	43,530
Moda		3,0	2,0
Desviación estándar		127,7436	116,4775
Varianza		16318,415	13567,016
Asimetría		3,586	3,544
Error estándar de asimetría		,008	,008
Curtosis		16,936	17,173
Error estándar de curtosis		,016	,016
Rango		1000,0	1000,0
Mínimo		,0	,0
Máximo		1000,0	1000,0
Percentiles	25	18,506	17,000
	50	46,000	43,530
	75	103,451	97,687

Anexo 9. Estadísticos descriptivos de los registros de MP de junio 2020.

Estadísticos Junio 2020			
		MP10	MP2.5
N	Válido	110468	110475
	Perdidos	15711	15704
Media		86,887	80,694
Error estándar de la media		,4144	,3790
Mediana		37,000	35,000
Moda		3,0	2,0
Desviación estándar		137,7252	125,9852

Varianza		18968,229	15872,283
Asimetría		3,583	3,589
Error estándar de asimetría		,007	,007
Curtosis		16,259	16,990
Error estándar de curtosis		,015	,015
Rango		1000,0	1000,0
Mínimo		,0	,0
Máximo		1000,0	1000,0
Percentiles	25	13,926	13,000
	50	37,000	35,000
	75	99,000	93,531

Anexo 10. Estadísticos descriptivos de los registros de MP de julio 2020.

Estadísticos Julio 2020			
		MP10	MP2.5
N	Válido	150059	150062
	Perdidos	15798	15795
Media		95,402	89,317
Error estándar de la media		,3847	,3565
Mediana		40,965	39,000
Moda		3,0	2,0
Desviación estándar		149,0289	138,1030
Varianza		22209,611	19072,432
Asimetría		3,301	3,352
Error estándar de asimetría		,006	,006
Curtosis		13,319	14,232
Error estándar de curtosis		,013	,013
Rango		1000,0	1000,0
Mínimo		,0	,0
Máximo		1000,0	1000,0
Percentiles	25	14,170	13,370
	50	40,965	39,000
	75	108,306	103,036

Anexo 11. Estadísticos descriptivos de los registros de MP de agosto 2020.

Estadísticos Agosto 2020			
		MP10	MP2.5
N	Válido	173834	173842
	Perdidos	16375	16367
Media		73,819	68,931
Error estándar de la media		,2910	,2671
Mediana		31,610	30,000
Moda		3,0	2,0
Desviación estándar		121,3104	111,3775
Varianza		14716,216	12404,955
Asimetría		3,988	4,010
Error estándar de asimetría		,006	,006
Curtosis		20,579	21,671
Error estándar de curtosis		,012	,012
Rango		1000,0	1000,0
Mínimo		,0	,0
Máximo		1000,0	1000,0
Percentiles	25	12,633	11,965
	50	31,610	30,000
	75	81,000	77,153

Anexo 12. Estadísticos descriptivos de los registros de MP de septiembre 2020.

Estadísticos Septiembre 2020			
		MP10	MP2.5
N	Válido	162645	162648
	Perdidos	15409	15406
Media		54,428	51,232
Error estándar de la media		,2308	,2130
Mediana		25,386	24,235
Moda		3,0	2,0
Desviación estándar		93,0925	85,9130
Varianza		8666,219	7381,042
Asimetría		5,072	5,012
Error estándar de asimetría		,006	,006
Curtosis		34,897	35,122
Error estándar de curtosis		,012	,012
Rango		1000,0	1000,0

Mínimo		,0	,0
Máximo		1000,0	1000,0
Percentiles	25	11,680	11,000
	50	25,386	24,235
	75	57,850	55,277

Anexo 13. Estadísticos descriptivos de los registros de MP de abril 2021.

Estadísticos Abril 2021			
		MP10	MP2.5
N	Válido	97392	97394
	Perdidos	12610	12608
Media		30,698	28,993
Error estándar de la media		,1632	,1538
Mediana		17.390	16.760
Moda		,0	,0
Desviación estándar		50.9226	48.0088
Varianza		2593,116	2304,845
Asimetría		8,625	9,091
Error estándar de asimetría		,008	,008
Curtosis		124,931	142,136
Error estándar de curtosis		,016	,016
Rango		1,000.0	1,000.0
Mínimo		,0	,0
Máximo		1.000,0	1.000,0
Percentiles	25	7,810	7,000
	50	17,390	16,760
	75	35,970	34,000

Anexo 14. Estadísticos descriptivos de los registros de MP de mayo 2021.

Estadísticos Mayo 2021			
		MP10	MP2.5
N	Válido	124278	124304
	Perdidos	22340	22314
Media		79,455	75,232
Error estándar de la media		,3567	,3344
Mediana		36,000	34,172
Moda		7,0	6,0
Desviación estándar		125,7514	117,8989

Varianza		15813,419	13900,157
Asimetría		3,706	3,676
Error estándar de asimetría		,007	,007
Curtosis		17,317	17,388
Error estándar de curtosis		,014	,014
Rango		1000,0	1000,0
Mínimo		,0	,0
Máximo		1000,0	1000,0
Percentiles	25	14,000	13,000
	50	36,000	34,172
	75	87,028	83,879

Anexo 15. Estadísticos descriptivos de los registros de MP de junio 2021.

Estadísticos Junio 2021			
		MP10	MP2.5
N	Válido	116021	116055
	Perdidos	20056	20022
Media		89,042	83,415
Error estándar de la media		,4096	,3759
Mediana		40,000	38,607
Moda		3,0	2,0
Desviación estándar		139,5340	128,0630
Varianza		19469,729	16400,126
Asimetría		3,527	3,493
Error estándar de asimetría		,007	,007
Curtosis		15,374	15,543
Error estándar de curtosis		,014	,014
Rango		1000,0	1127,7
Mínimo		,0	,0
Máximo		1000,0	1127,7
Percentiles	25	14,361	13,908
	50	40,000	38,607
	75	100,891	96,000

Anexo 16. Estadísticos descriptivos de los registros de MP de julio 2021.

Estadísticos Julio 2021			
		Mp10	Mp2.5
N	Válido	124678	124686

	Perdidos	12113	12105
Media		93,280	87,327
Error estándar de la media		,4155	,3842
Mediana		44,000	42,111
Moda		3,0	2,0
Desviación estándar		146,7187	135,6733
Varianza		21526,380	18407,247
Asimetría		3,632	3,704
Error estándar de asimetría		,007	,007
Curtosis		15,878	17,125
Error estándar de curtosis		,014	,014
Rango		1427,2	1055,2
Mínimo		,0	,0
Máximo		1427,2	1055,2
Percentiles	25	18,414	17,800
	50	44,000	42,111
	75	101,302	95,883

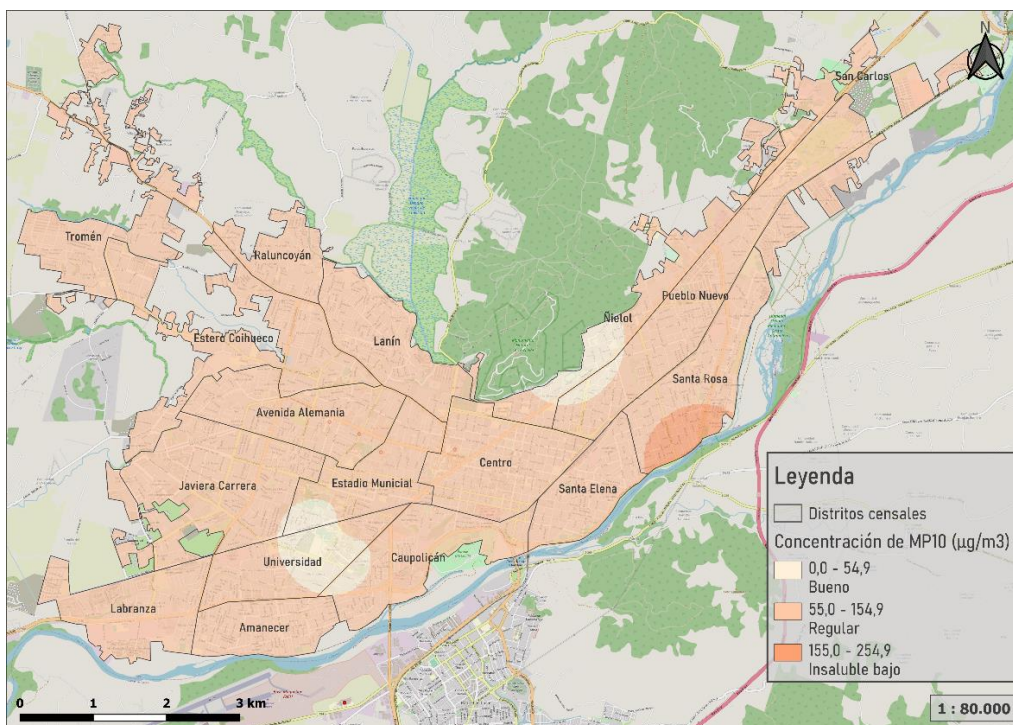
Anexo 17. Estadísticos descriptivos de los registros de MP de agosto 2021.

Estadísticos Agosto 2021			
		MP10	MP2.5
N	Válido	152745	152746
	Perdidos	18973	18972
Media		57,362	53,488
Error estándar de la media		,2702	,2524
Mediana		23,260	22,000
Moda		3,0	2,0
Desviación estándar		105,6041	98,6469
Varianza		11152,233	9731,215
Asimetría		5,015	5,256
Error estándar de asimetría		,006	,006
Curtosis		32,921	37,331
Error estándar de curtosis		,013	,013
Rango		1013,0	1000,0
Mínimo		,0	,0
Máximo		1013,0	1000,0
Percentiles	25	9,909	9,000
	50	23,260	22,000
	75	59,000	56,000

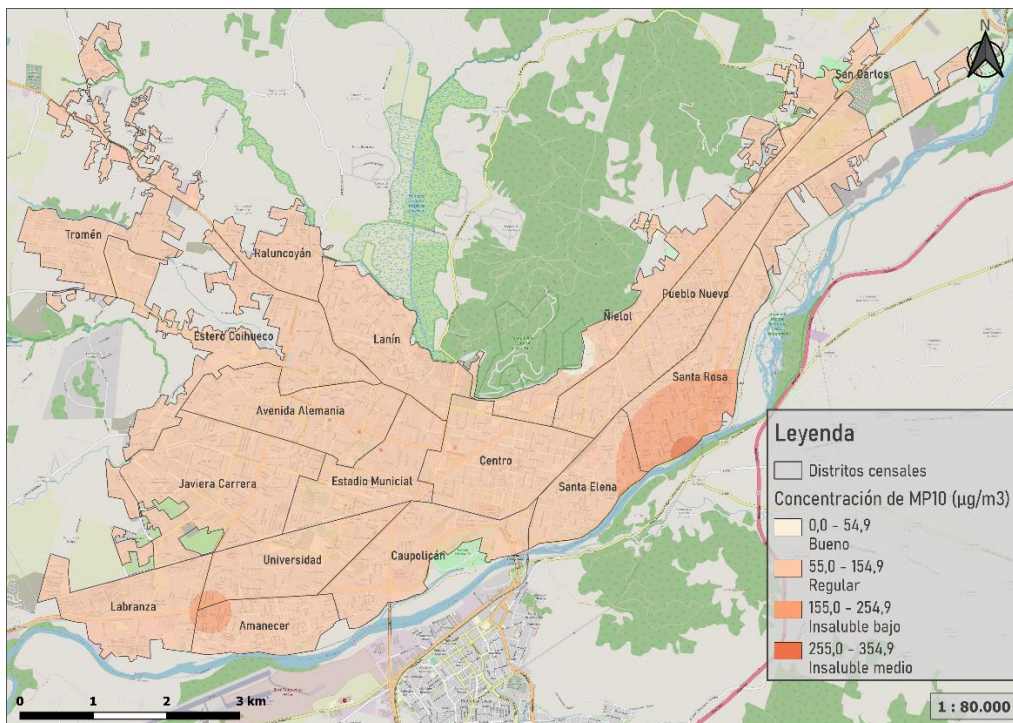
Anexo 18. Estadísticos descriptivos de los registros de MP de septiembre 2021.

Estadísticos Septiembre 2021			
		MP10	MP2.5
N	Válido	99066	99067
	Perdidos	11640	11639
Media		36,483	34,126
Error estándar de la media		,1662	,1518
Mediana		19,601	18,600
Moda		8,0	7,0
Desviación estándar		52,3267	47,7720
Varianza		2.738,085	2.282,160
Asimetría		5,264	5,035
Error estándar de asimetría		,008	,008
Curtosis		50,670	48,611
Error estándar de curtosis		,016	,016
Rango		1,000.0	1,000.0
Mínimo		,0	,0
Máximo		1,000.0	1,000.0
Percentiles	25	9,000	8,000
	50	19,601	18,600
	75	43,284	41,000

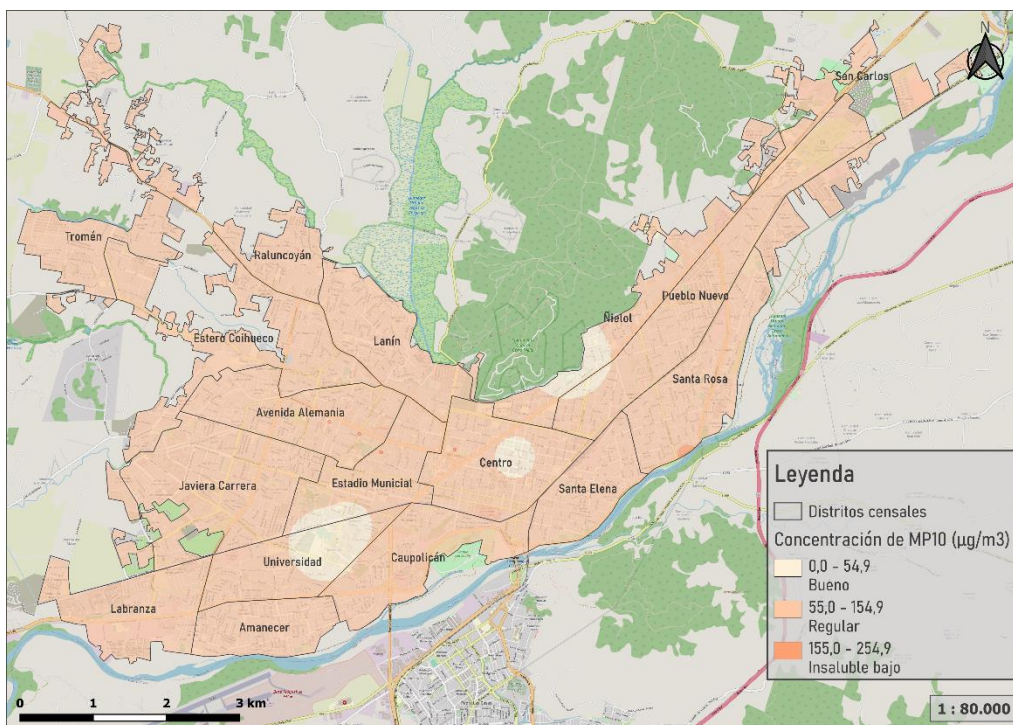
Anexo 19. Mapa de la concentración media de MP10 durante abril del 2019 en Temuco.



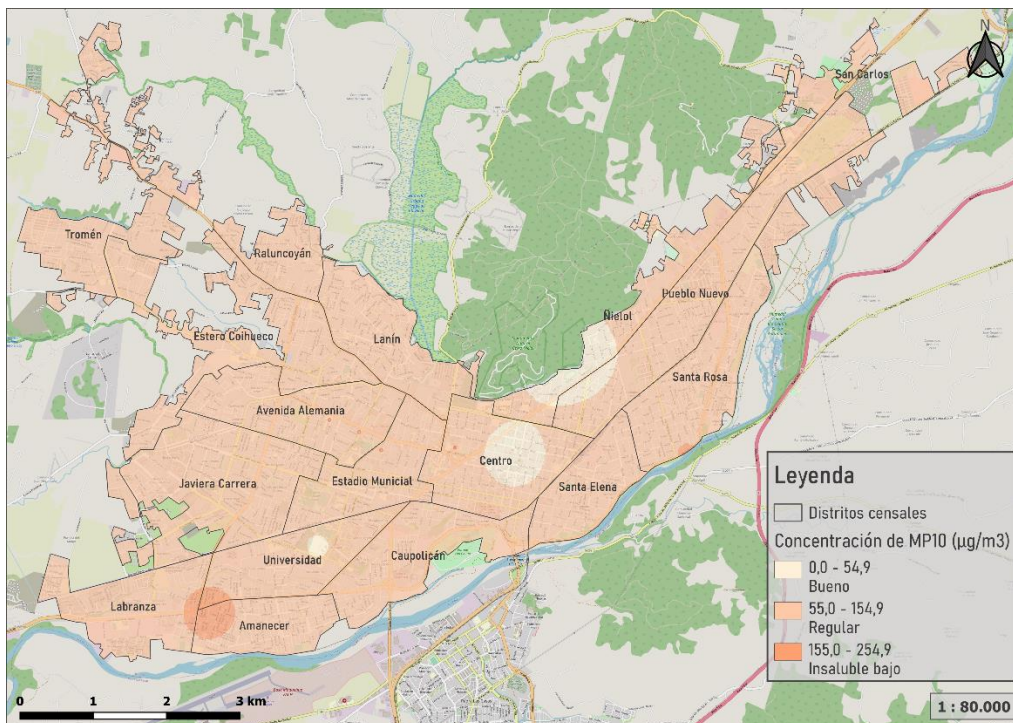
Anexo 20. Mapa de la concentración media de MP10 durante mayo del 2019 en Temuco.



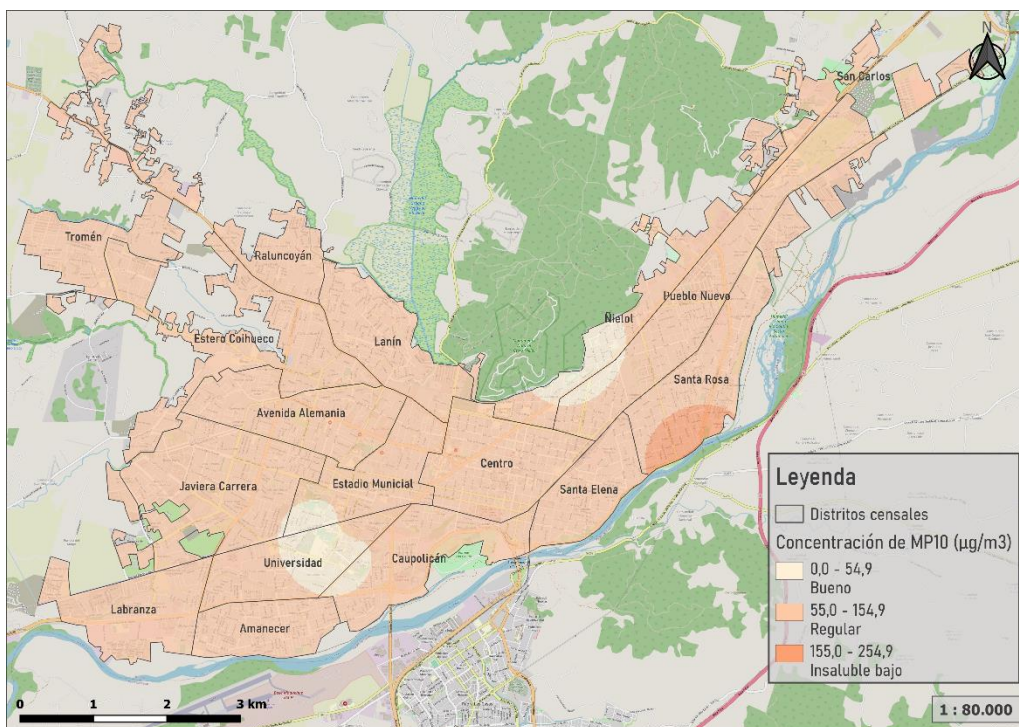
Anexo 21. Mapa de la concentración media de MP10 durante junio del 2019 en Temuco.



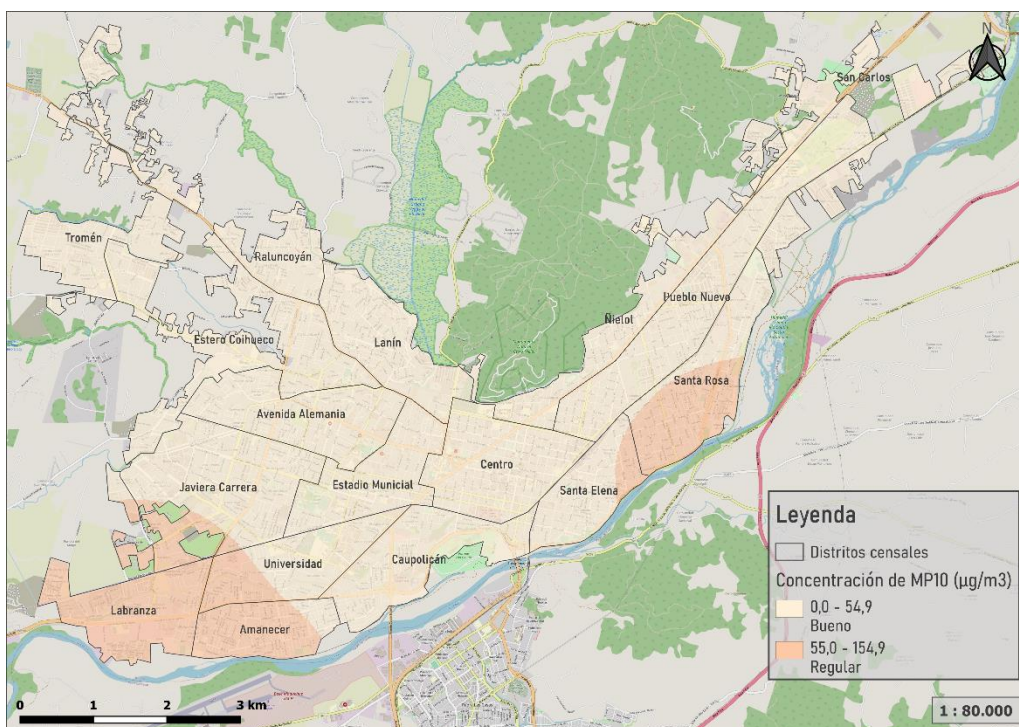
Anexo 22. Mapa de la concentración media de MP10 durante julio del 2019 en Temuco.



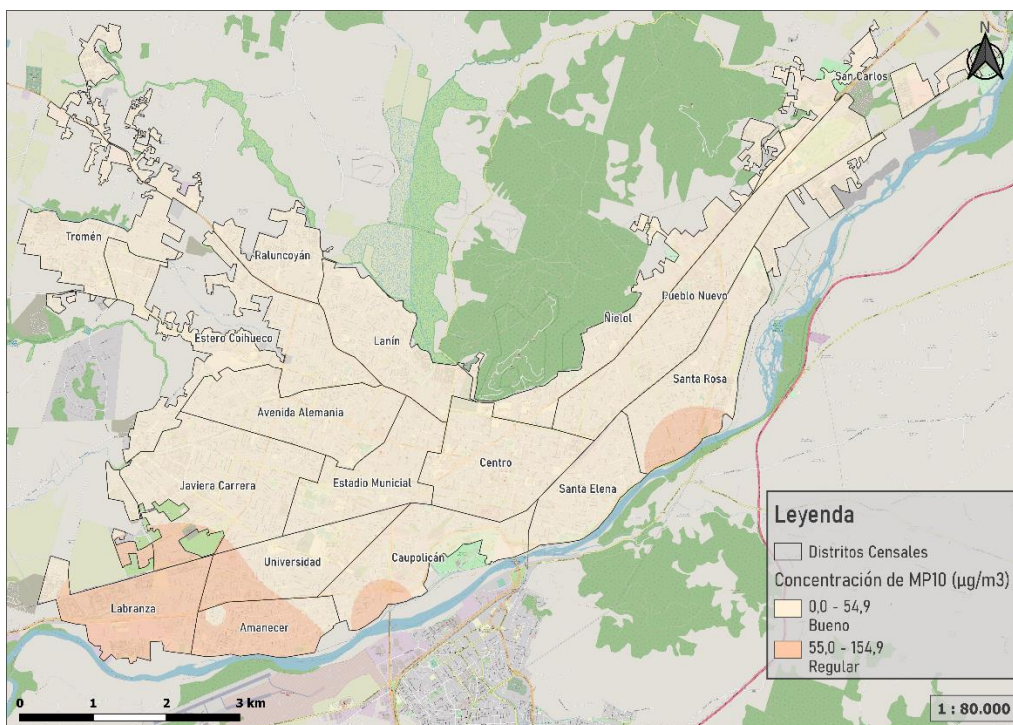
Anexo 23. Mapa de la concentración media de MP10 durante agosto del 2019 en Temuco.



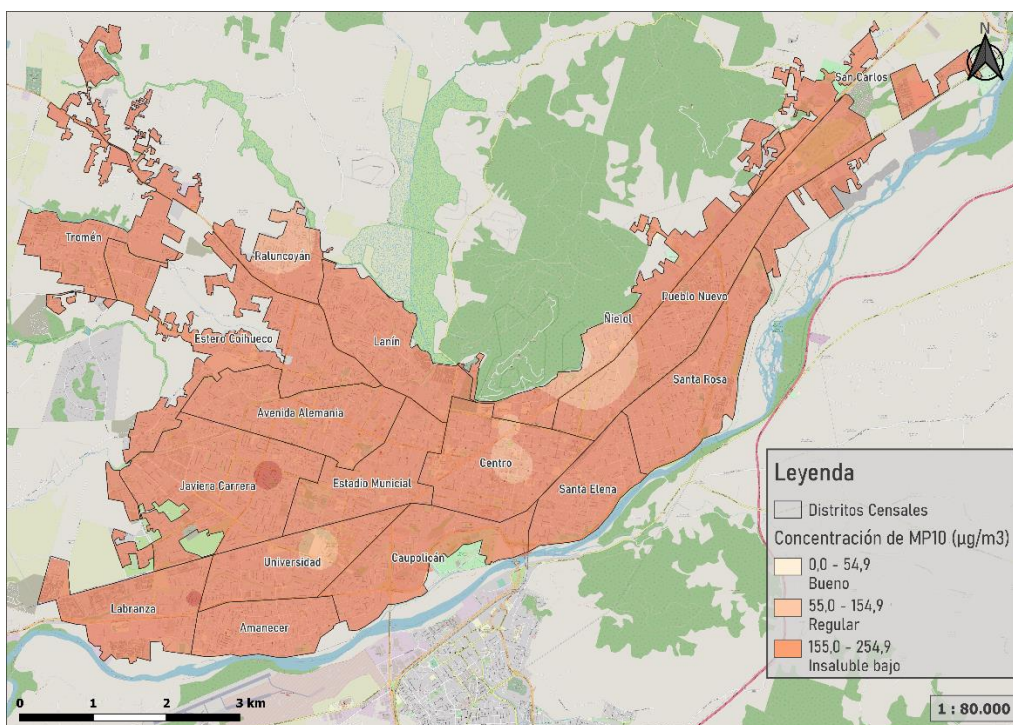
Anexo 24. Mapa de la concentración media de MP10 durante septiembre del 2019 en Temuco.



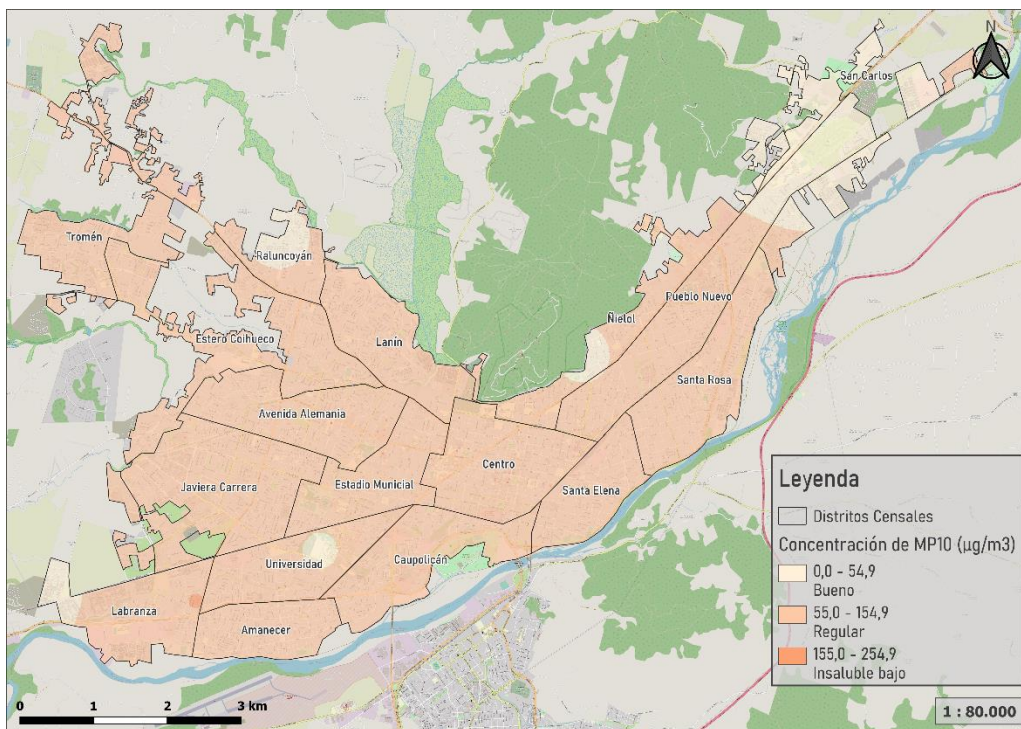
Anexo 25. Mapa de la concentración media de MP10 durante abril del 2020 en Temuco.



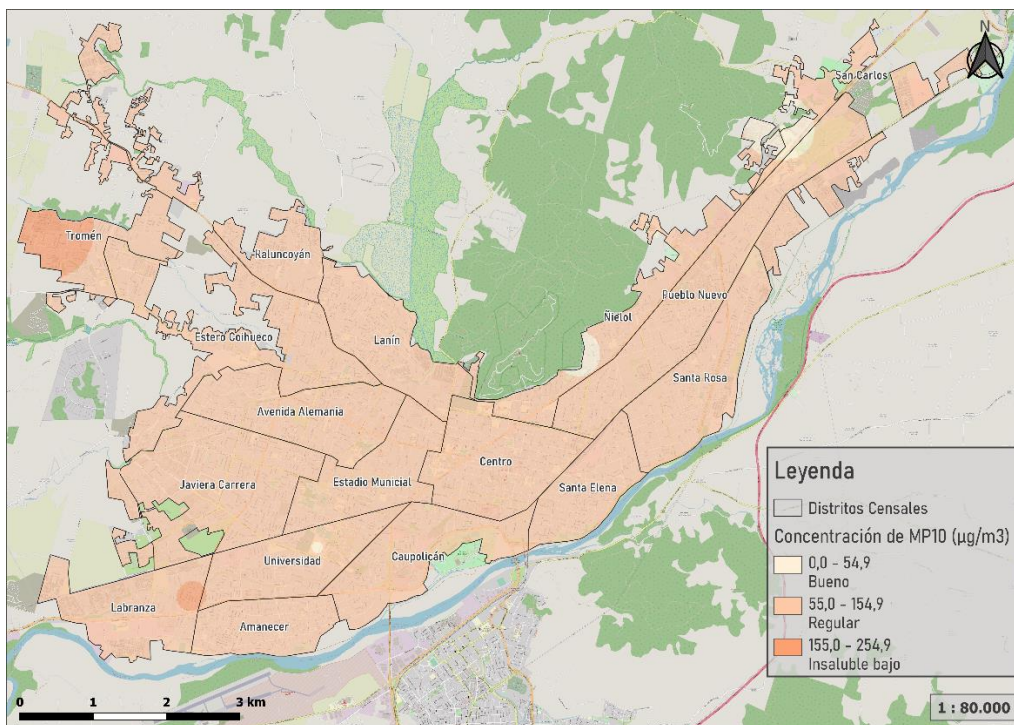
Anexo 26. Mapa de la concentración media de MP10 durante mayo del 2020 en Temuco.



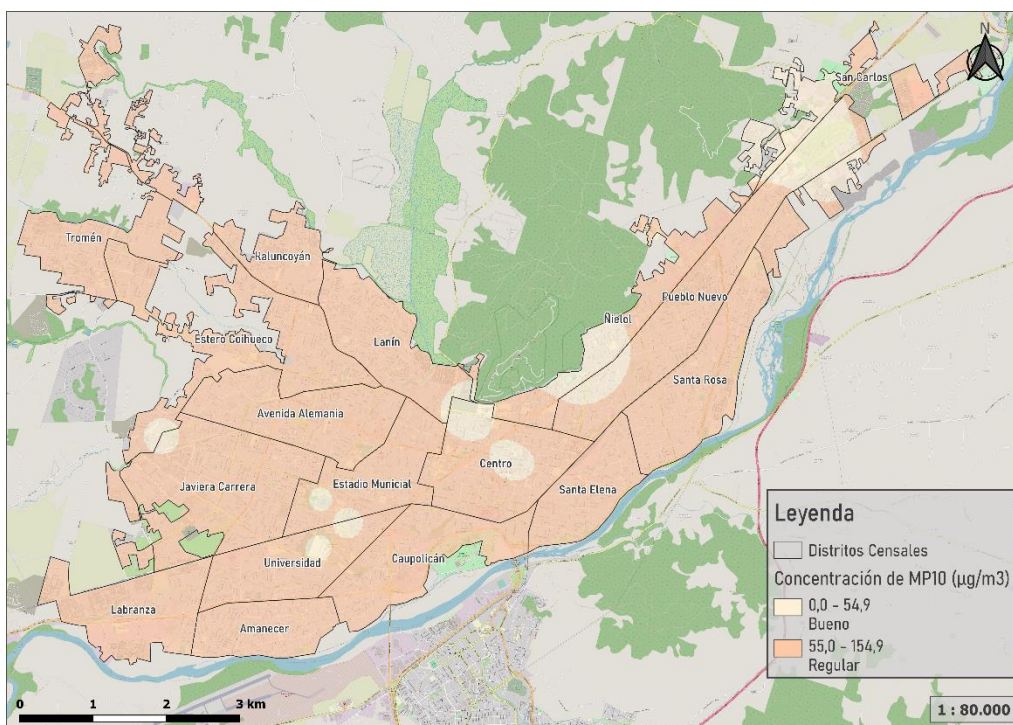
Anexo 27. Mapa de la concentración media de MP10 durante junio del 2020 en Temuco.



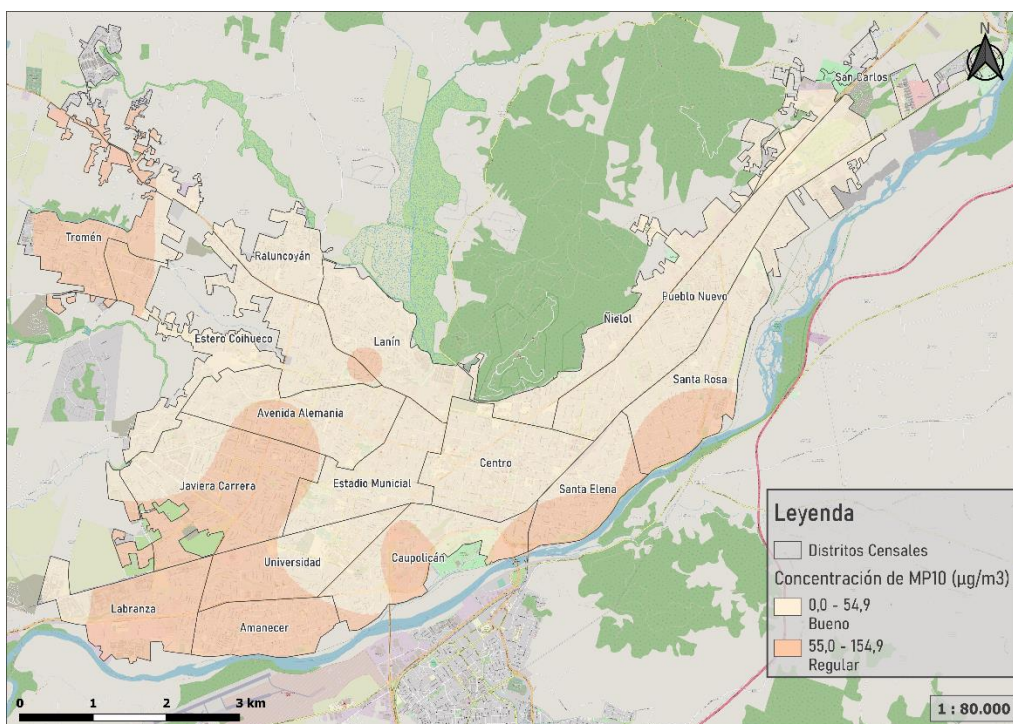
Anexo 28. Mapa de la concentración media de MP10 durante julio del 2020 en Temuco.



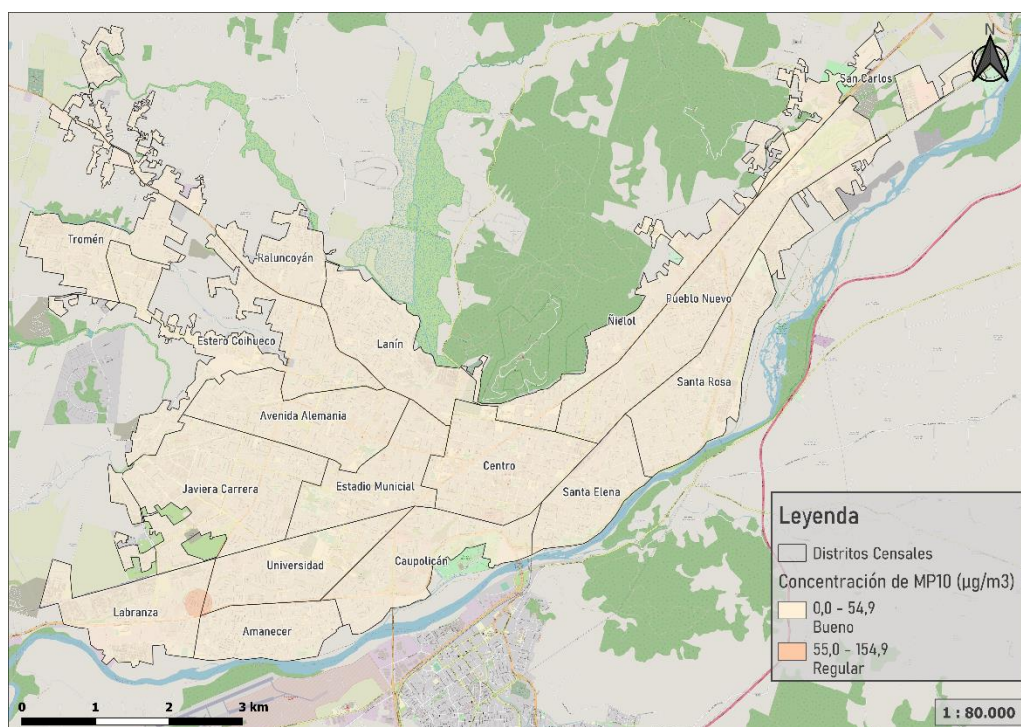
Anexo 29. Mapa de la concentración media de MP10 durante agosto del 2020 en Temuco.



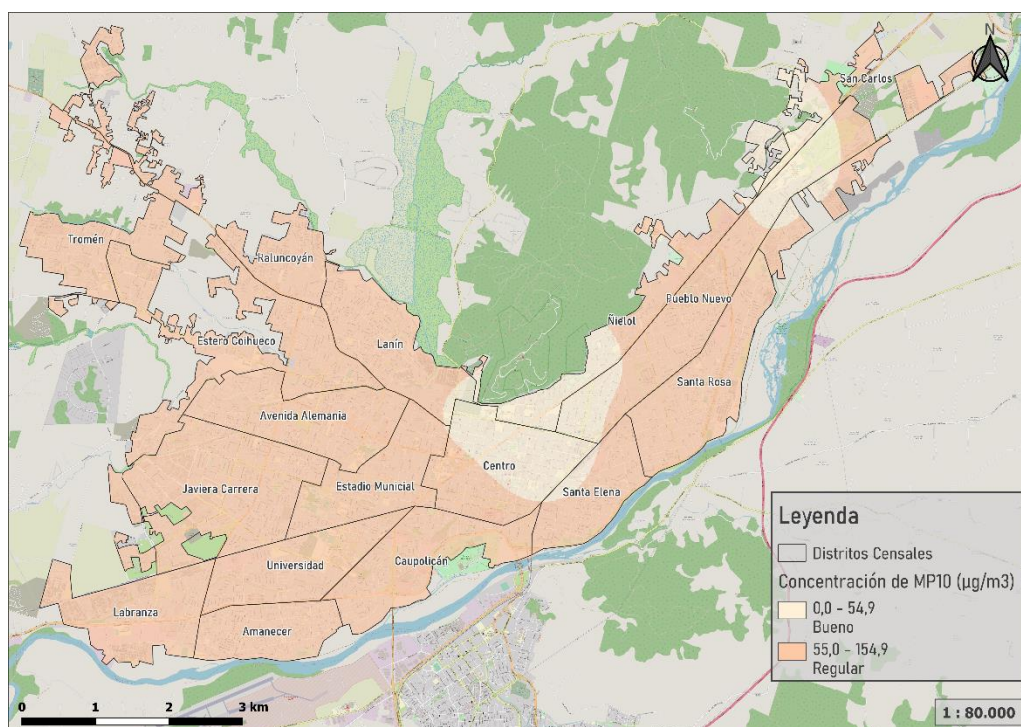
Anexo 30. Mapa de la concentración media de MP10 durante septiembre del 2020 en Temuco.



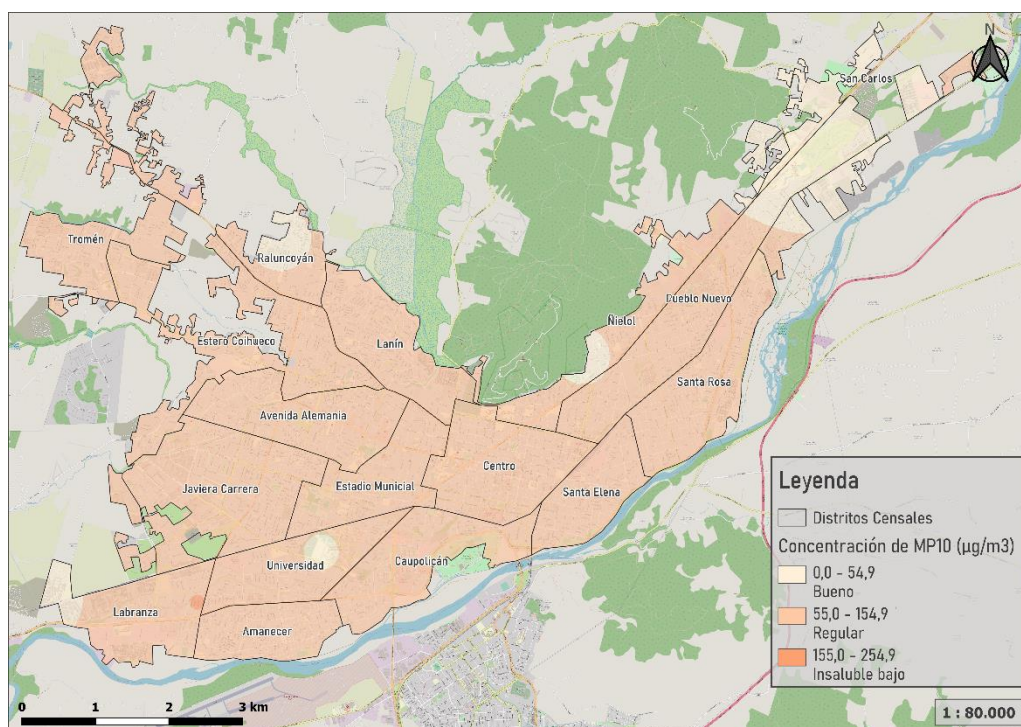
Anexo 31. Mapa de la concentración media de MP10 durante abril del 2021 en Temuco.



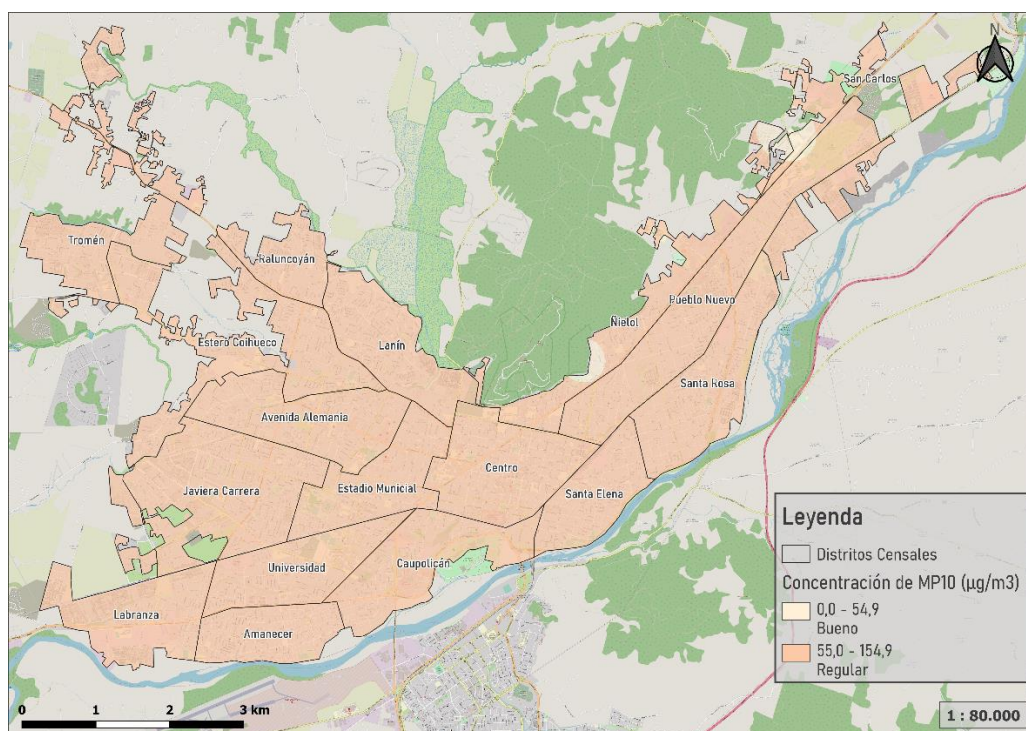
Anexo 32. Mapa de la concentración media de MP10 durante mayo del 2021 en Temuco.



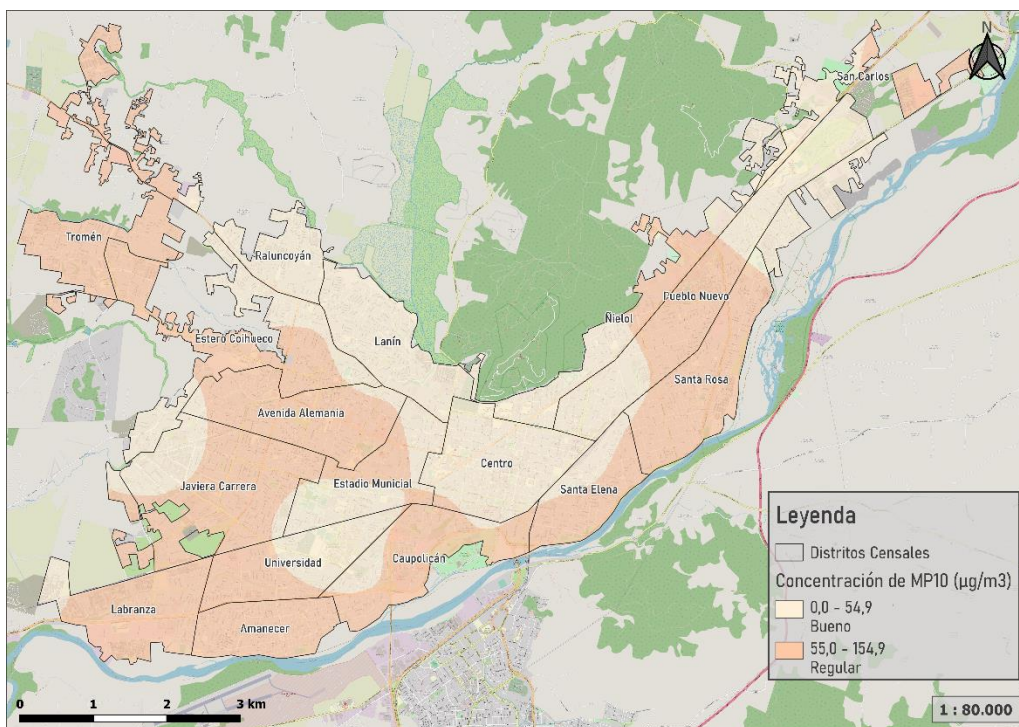
Anexo 33. Mapa de la concentración media de MP10 durante junio del 2021 en Temuco.



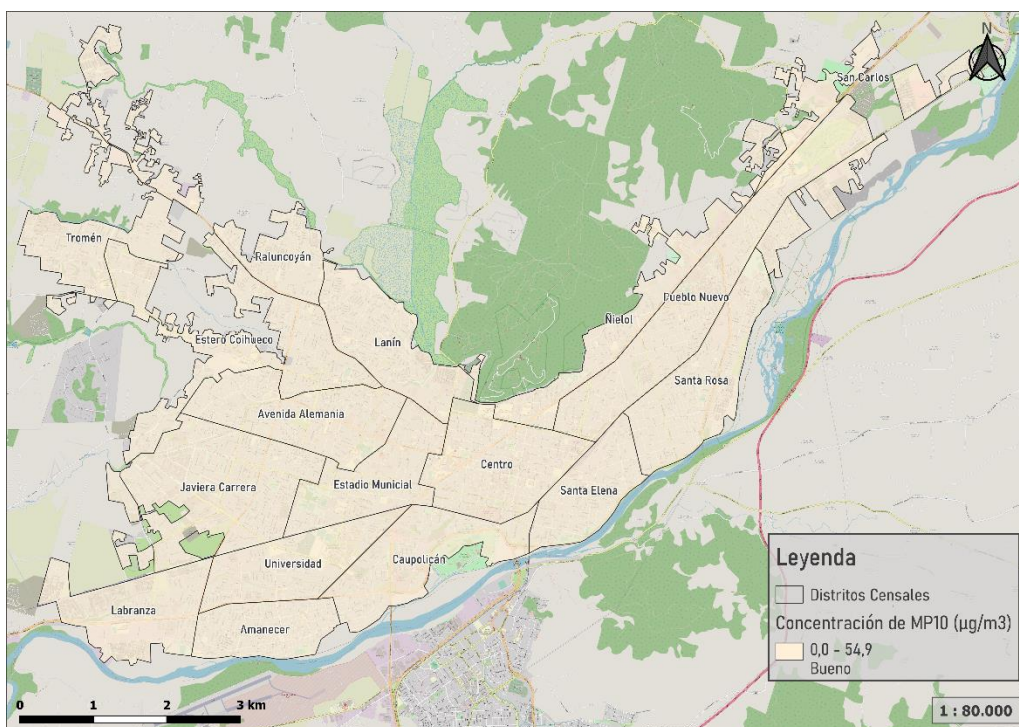
Anexo 34. Mapa de la concentración media de MP10 durante julio del 2021 en Temuco.



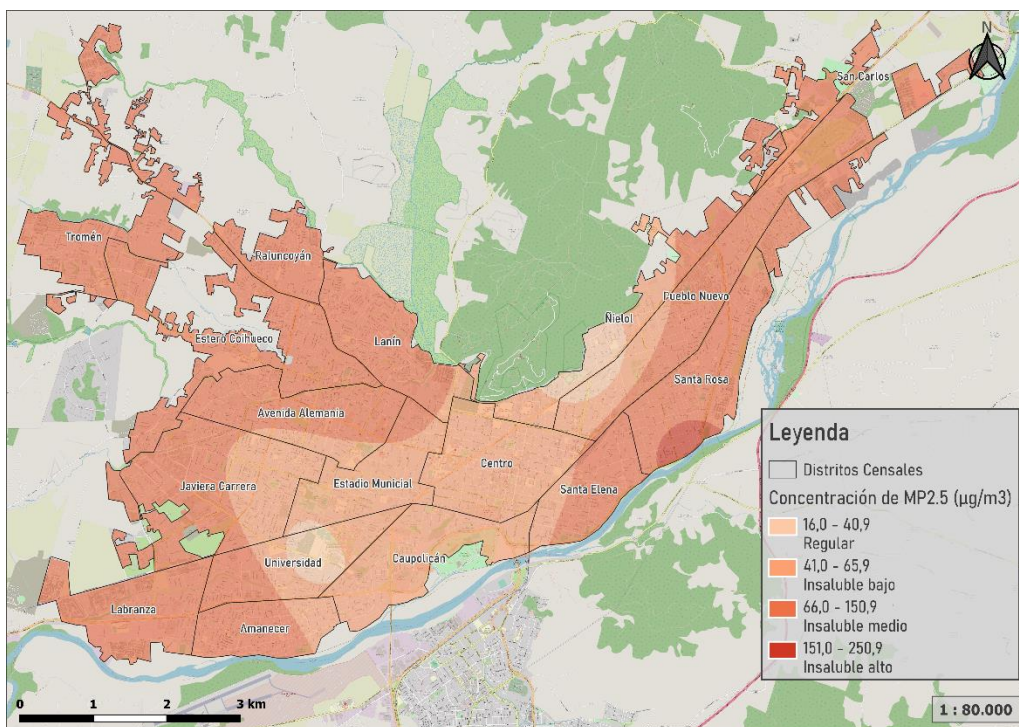
Anexo 35. Mapa de la concentración media de MP10 durante agosto del 2021 en Temuco.



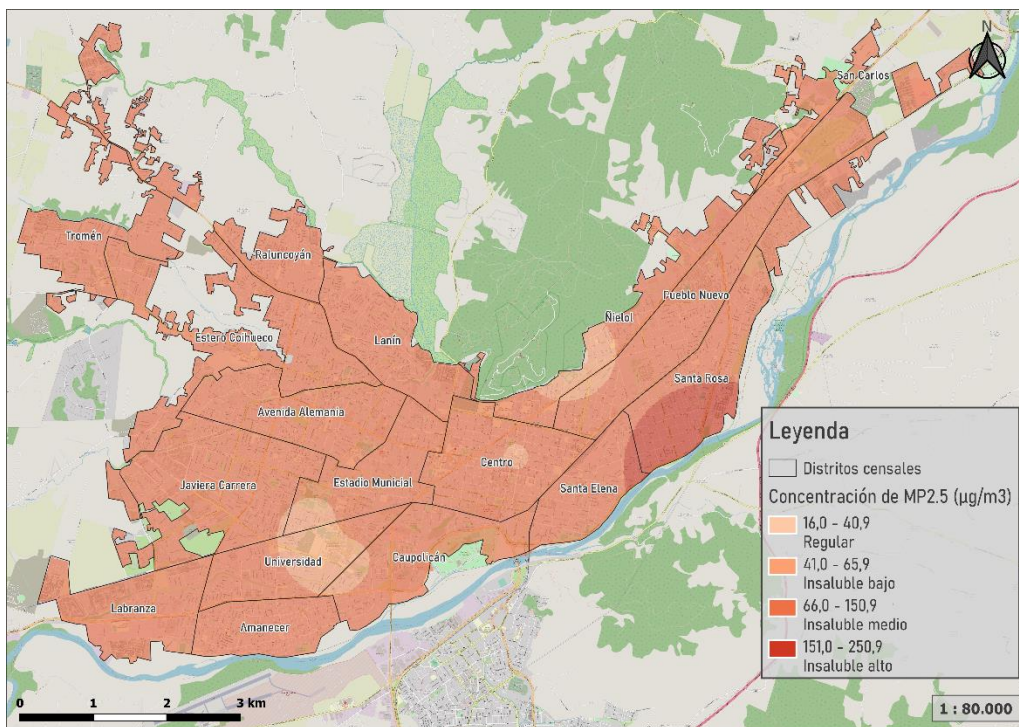
Anexo 36. Mapa de la concentración media de MP10 durante septiembre del 2021 en Temuco.



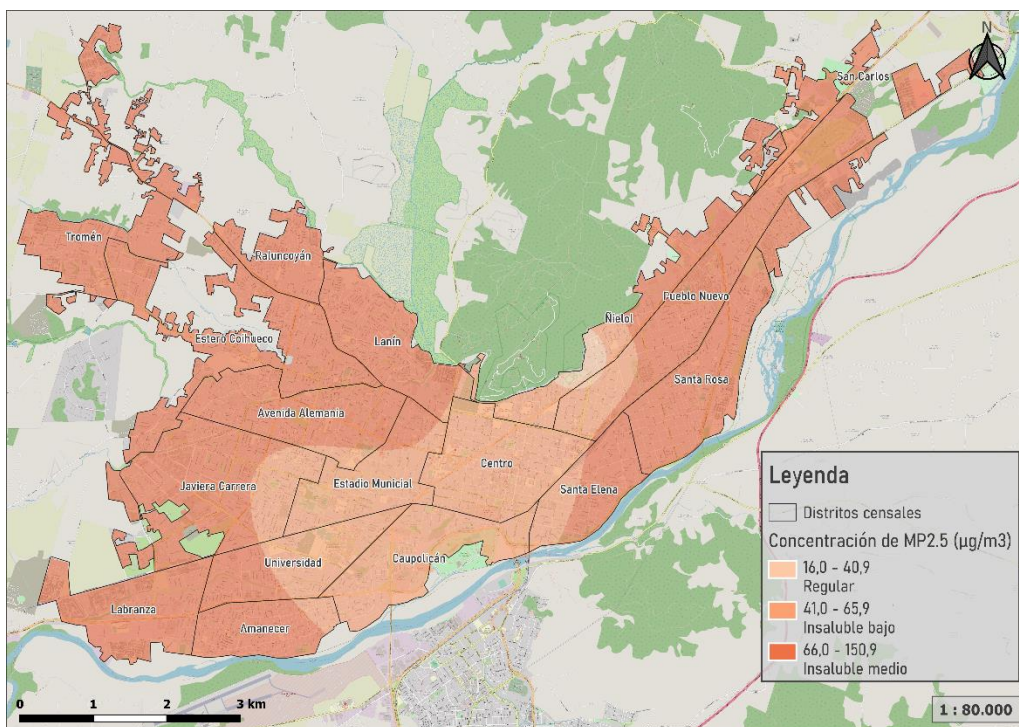
Anexo 37. Mapa de la concentración media de MP2.5 durante abril del 2019 en Temuco.



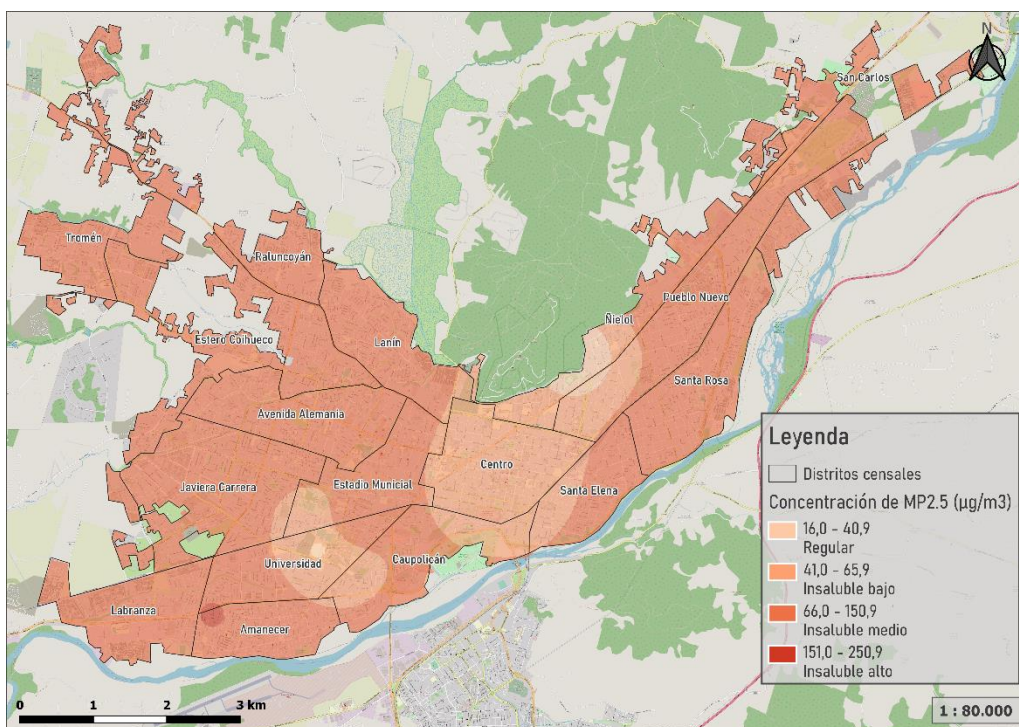
Anexo 38. Mapa de la concentración media de MP2.5 durante mayo del 2019 en Temuco.



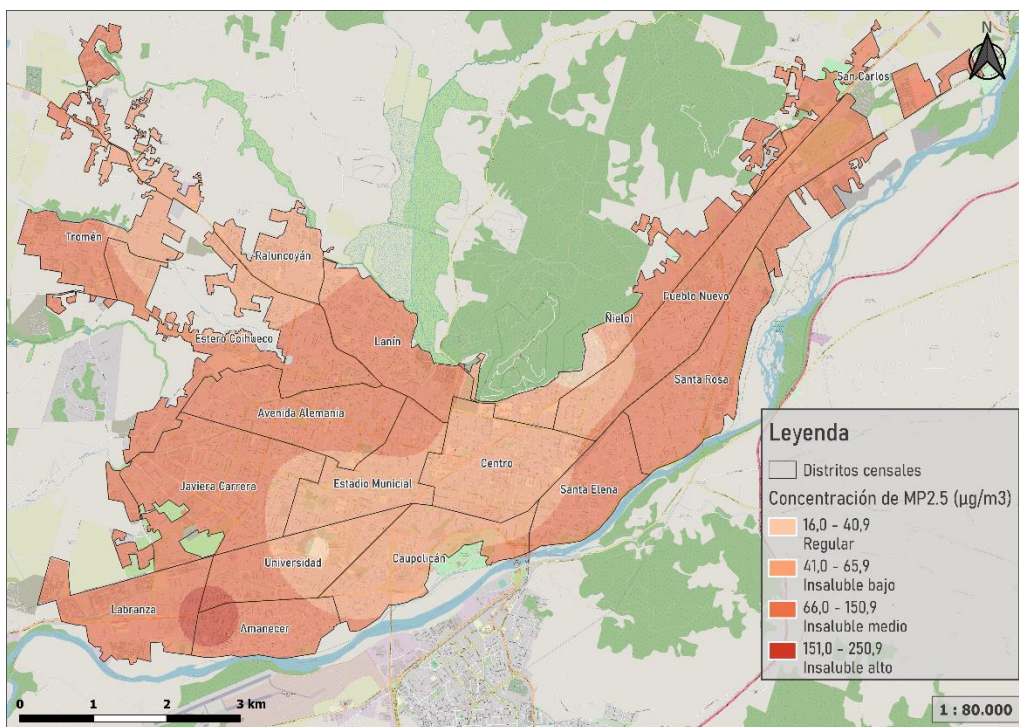
Anexo 39. Mapa de la concentración media de MP2.5 durante junio del 2019 en Temuco.



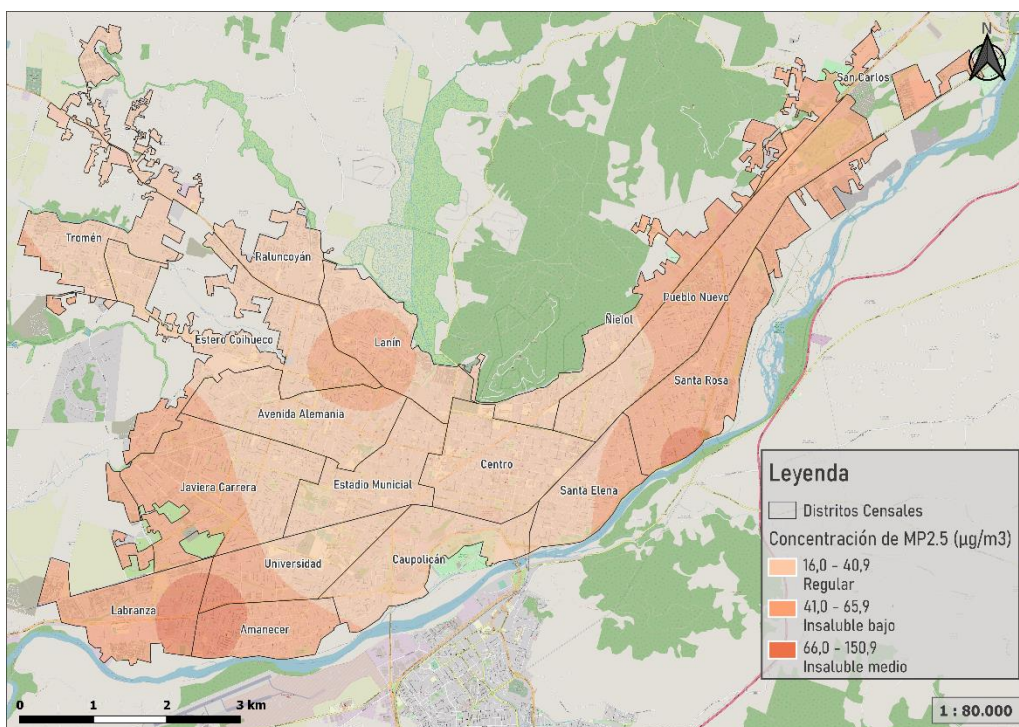
Anexo 40. Mapa de la concentración media de MP2.5 durante julio del 2019 en Temuco.



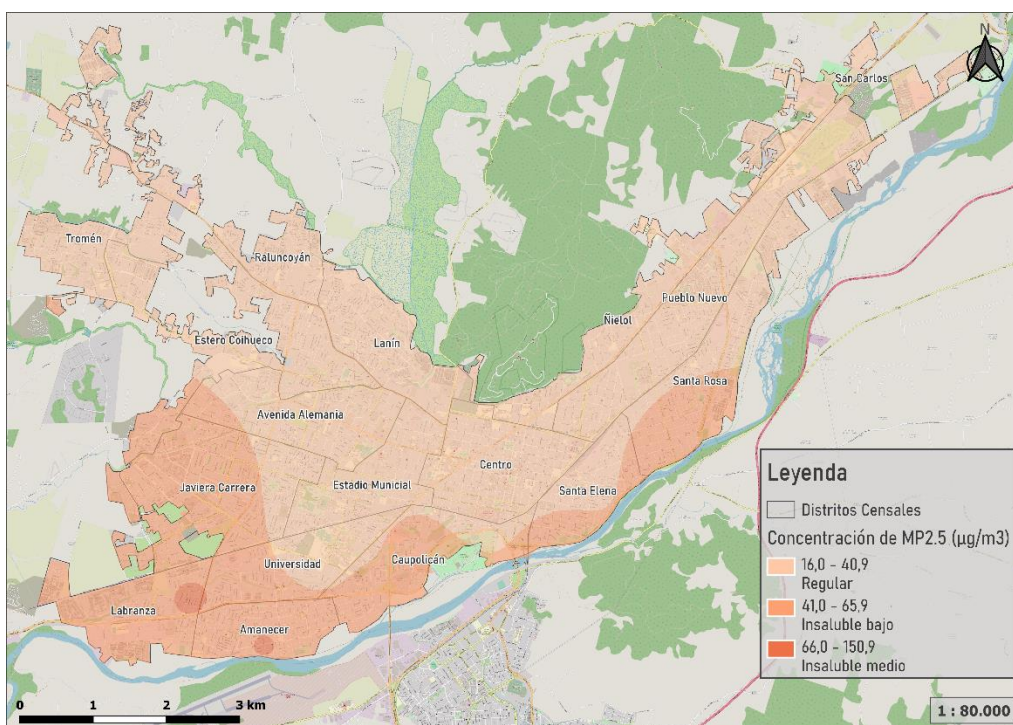
Anexo 41. Mapa de la concentración media de MP2.5 durante agosto del 2019 en Temuco.



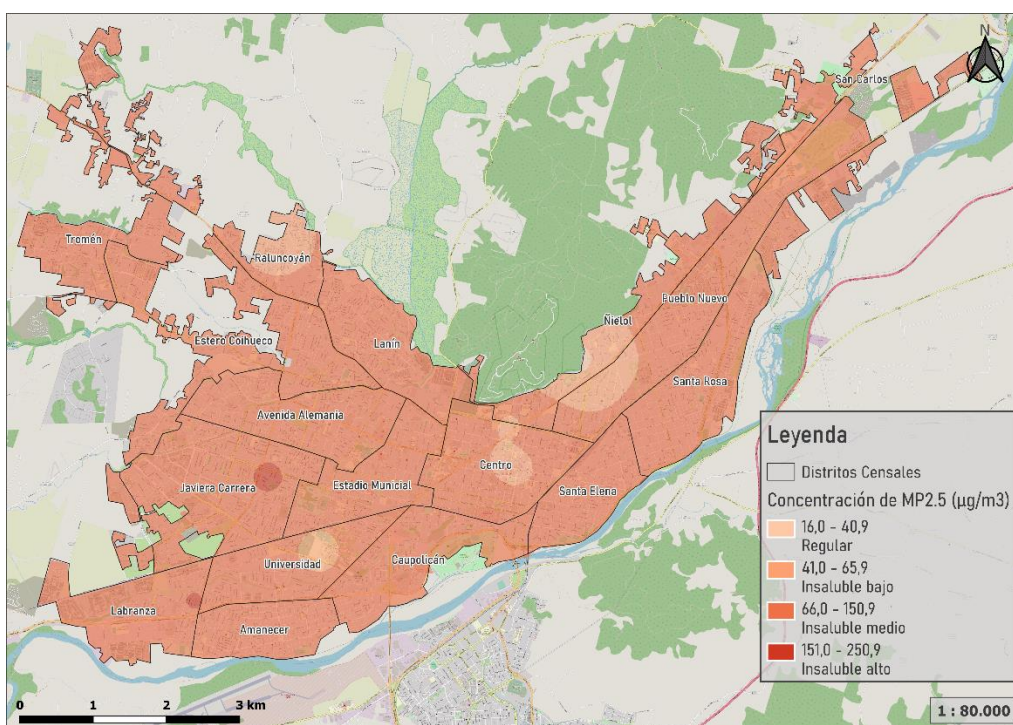
Anexo 42. Mapa de la concentración media de MP2.5 durante septiembre del 2019 en Temuco.



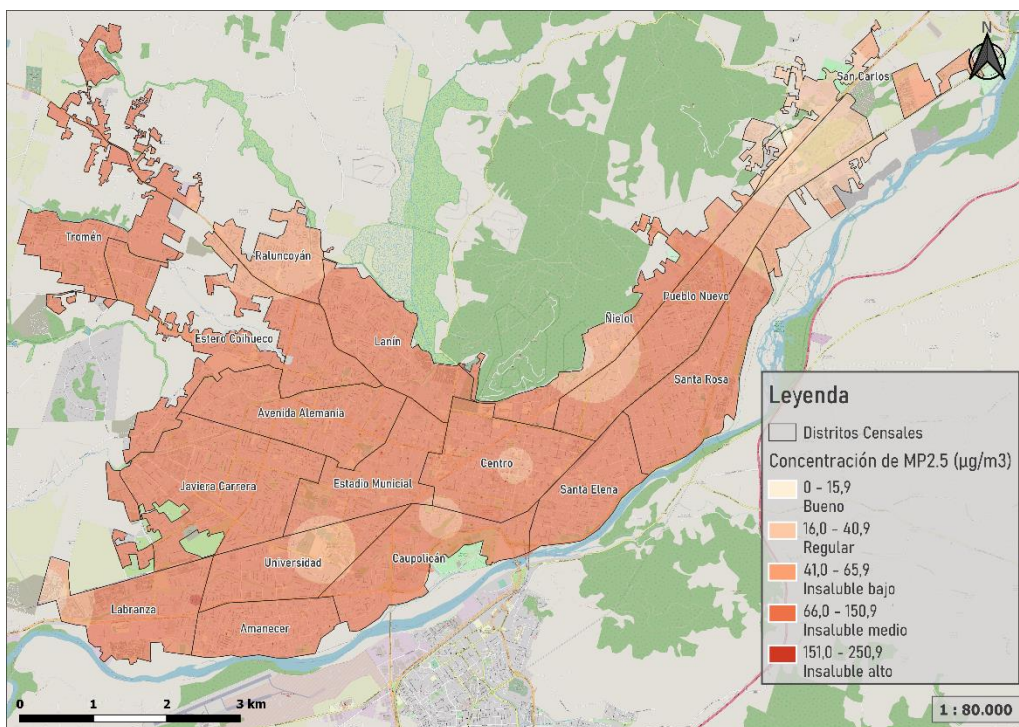
Anexo 43. Mapa de la concentración media de MP2.5 durante abril del 2020 en Temuco.



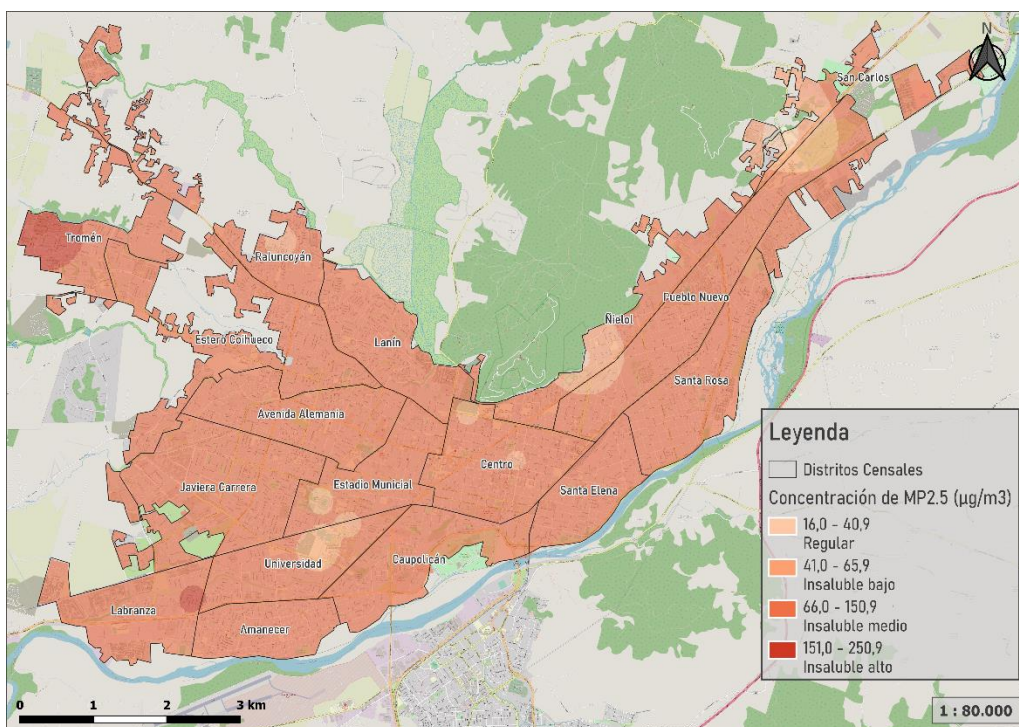
Anexo 44. Mapa de la concentración media de MP2.5 durante mayo del 2020 en Temuco.



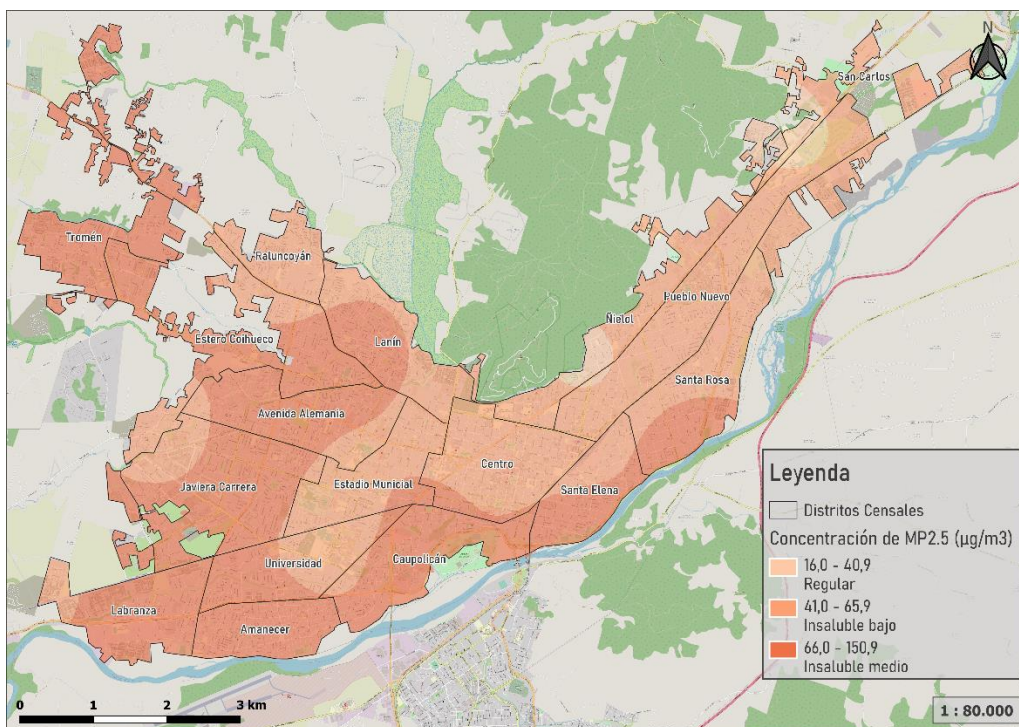
Anexo 45. Mapa de la concentración media de MP2.5 durante junio del 2020 en Temuco.



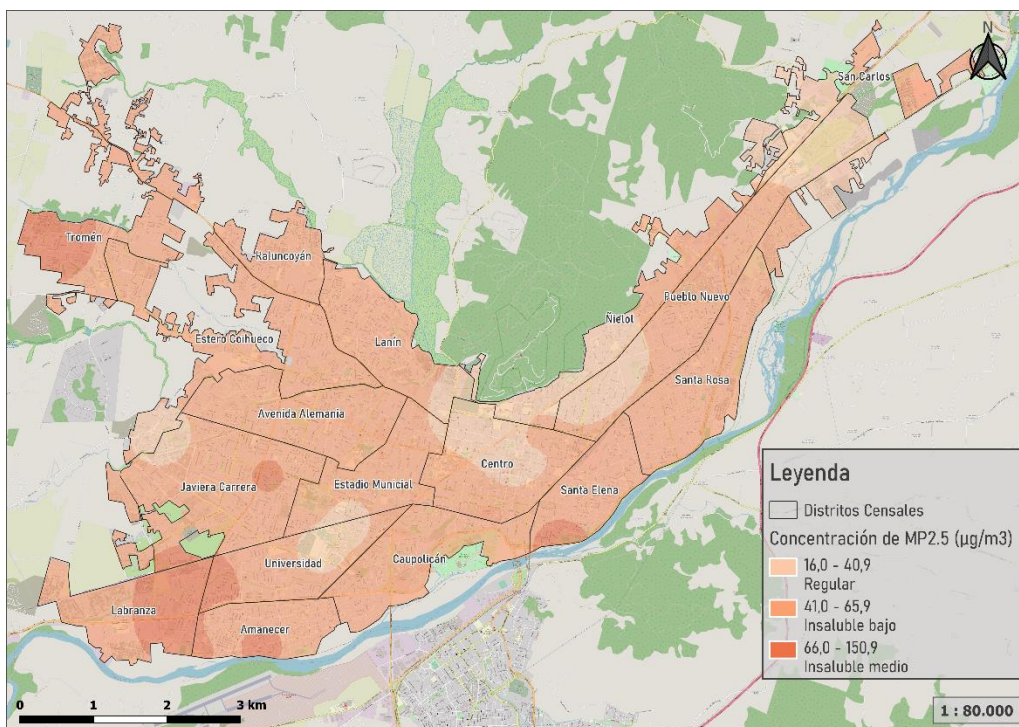
Anexo 46. Mapa de la concentración media de MP2.5 durante julio del 2020 en Temuco.



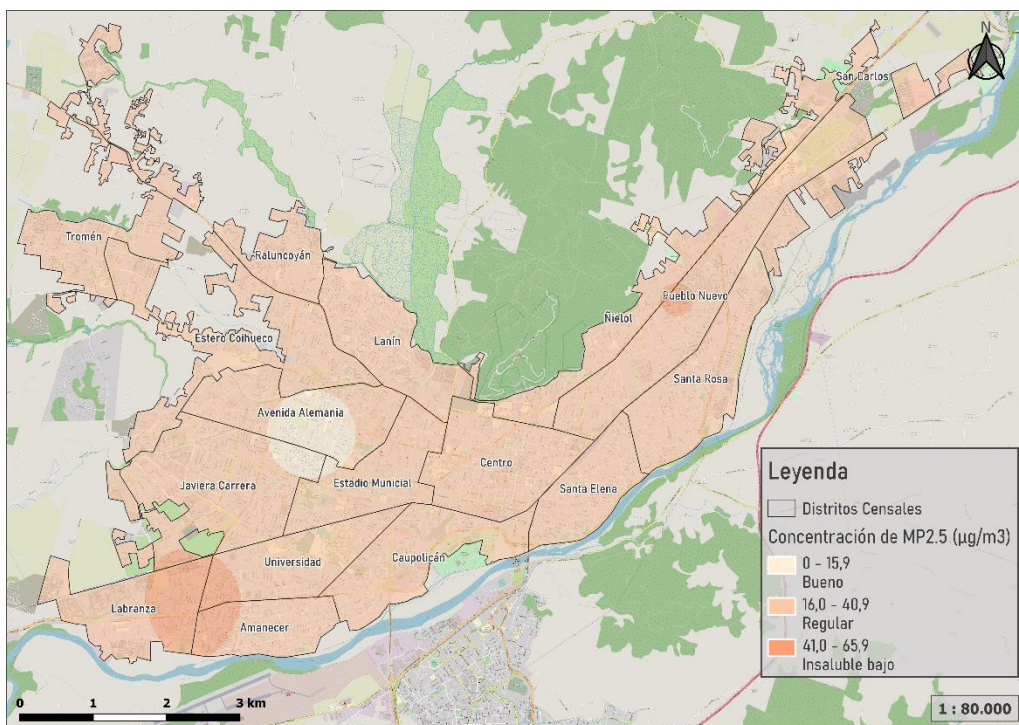
Anexo 47. Mapa de la concentración media de MP2.5 durante agosto del 2020 en Temuco.



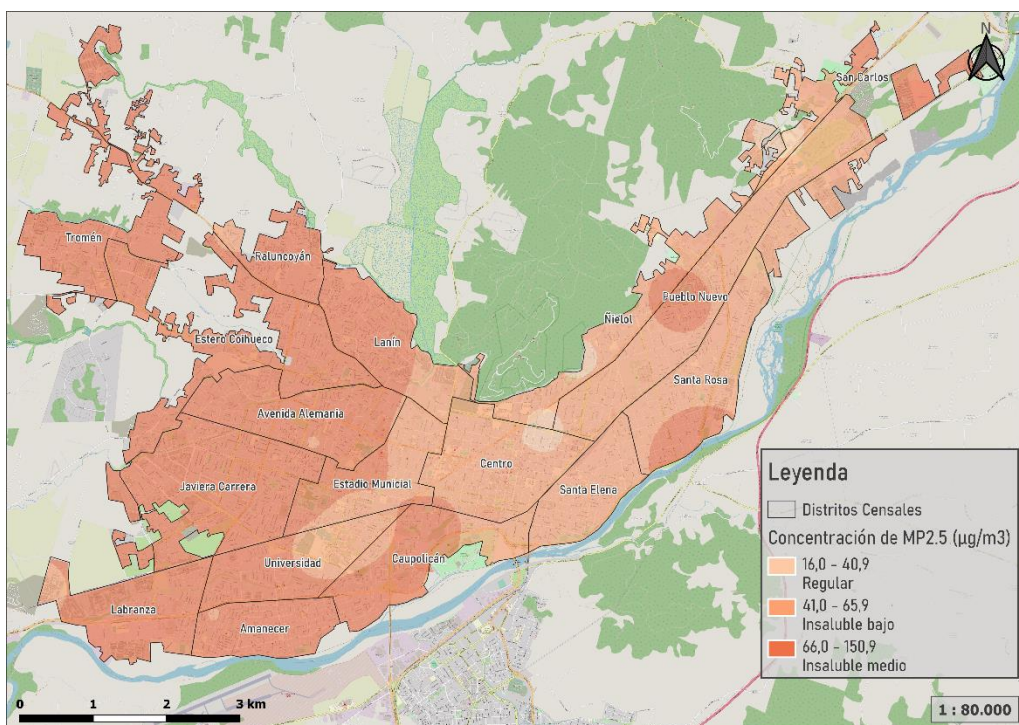
Anexo 48. Mapa de la concentración media de MP2.5 durante septiembre del 2020 en Temuco.



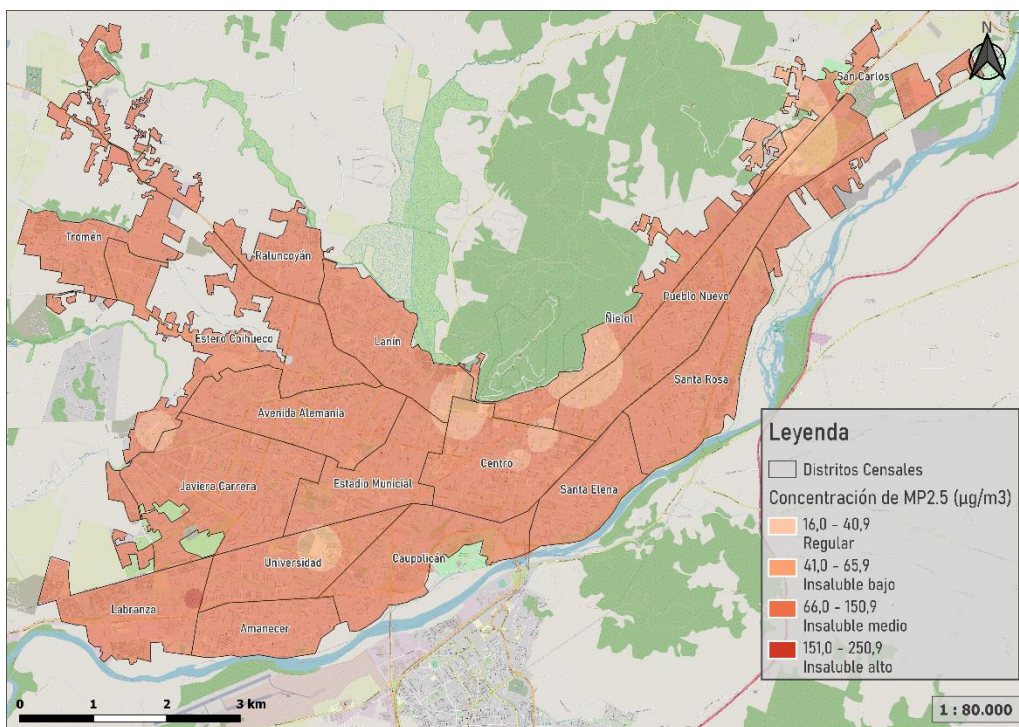
Anexo 49. Mapa de la concentración media de MP2.5 durante abril del 2021 en Temuco.



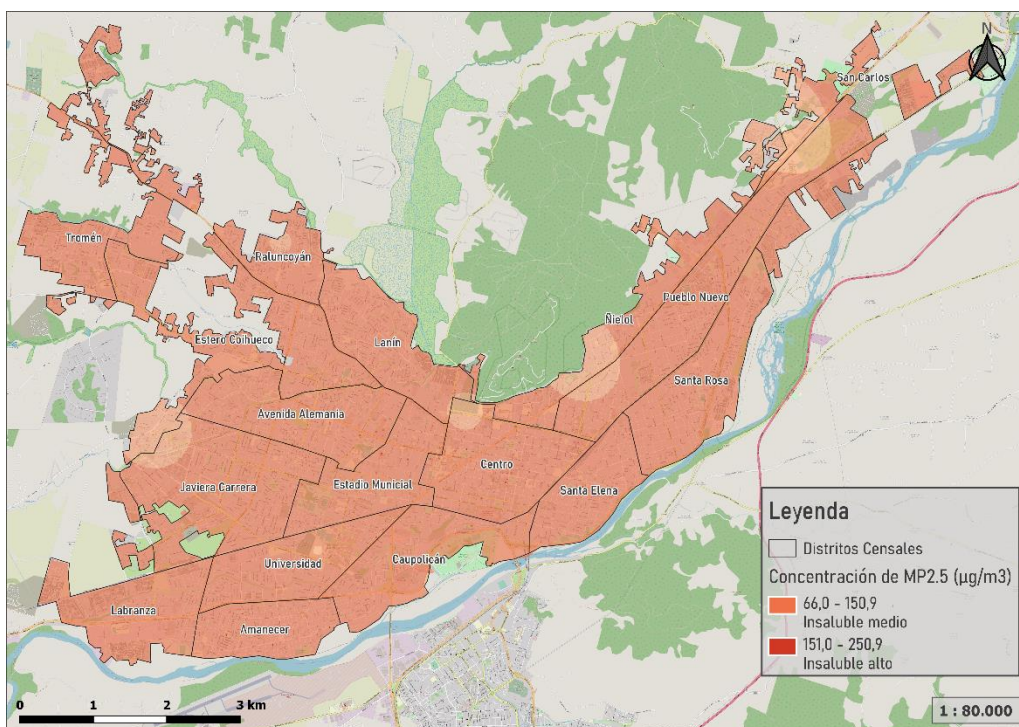
Anexo 50. Mapa de la concentración media de MP2.5 durante mayo del 2021 en Temuco.



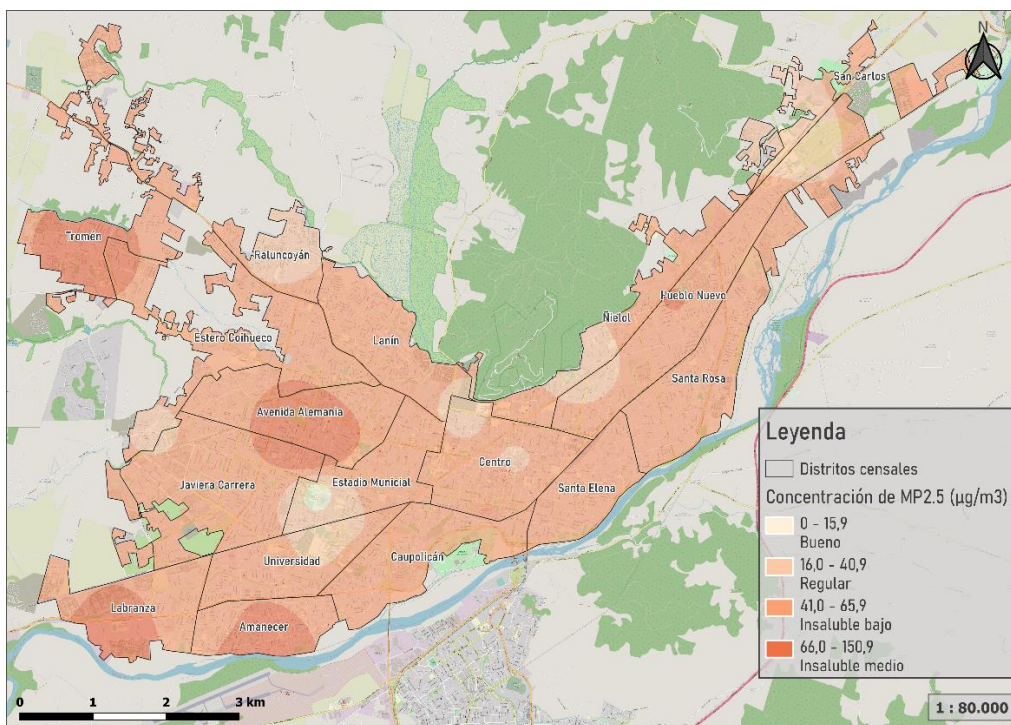
Anexo 51. Mapa de la concentración media de MP2.5 durante junio del 2021 en Temuco.



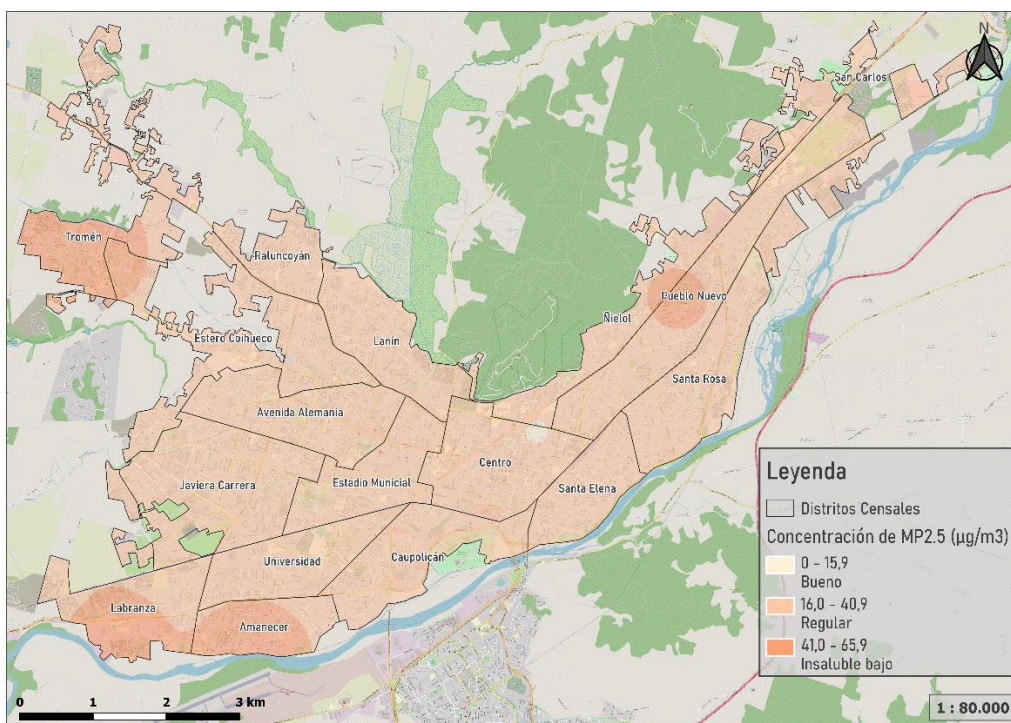
Anexo 52. Mapa de la concentración media de MP2.5 durante julio del 2021 en Temuco.



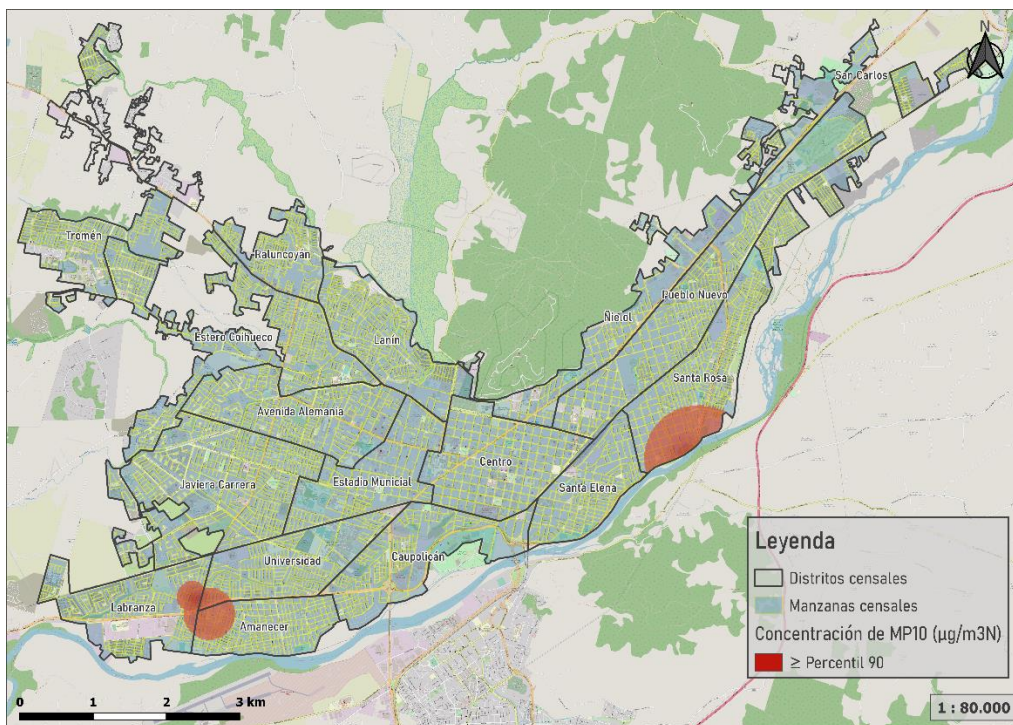
Anexo 53. Mapa de la concentración media de MP2.5 durante agosto del 2021 en Temuco.



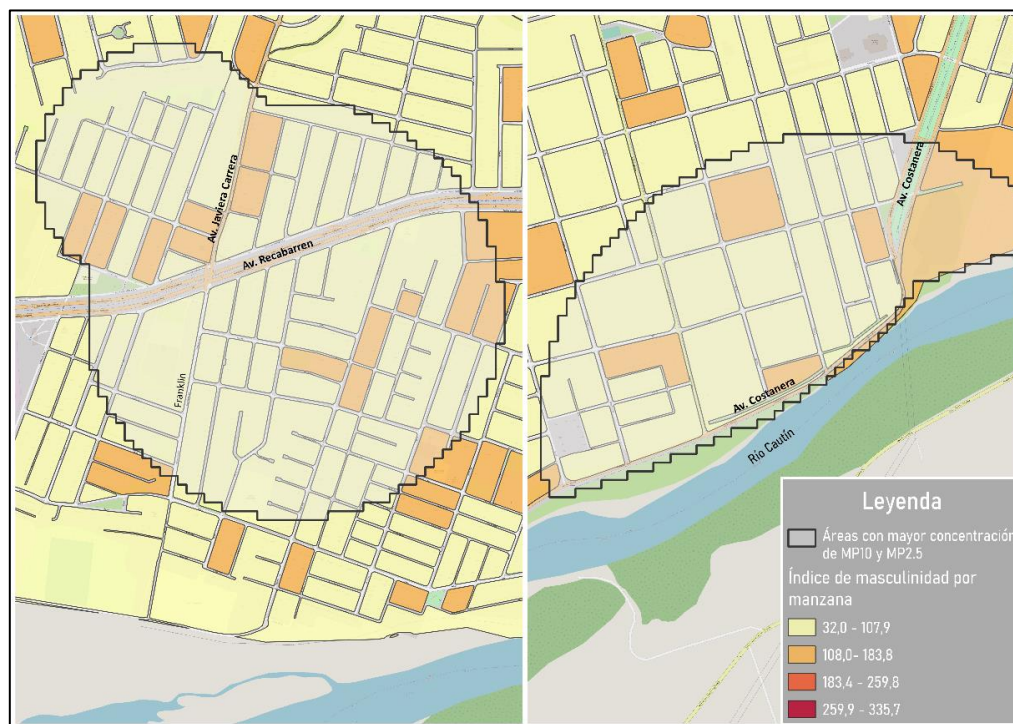
Anexo 54. Mapa de la concentración media de MP2.5 durante septiembre del 2021 en Temuco.



Anexo 55. Mapa de las áreas con mayor concentración de MP10 representado por valores igual o mayores al P90 del valor total MP10.



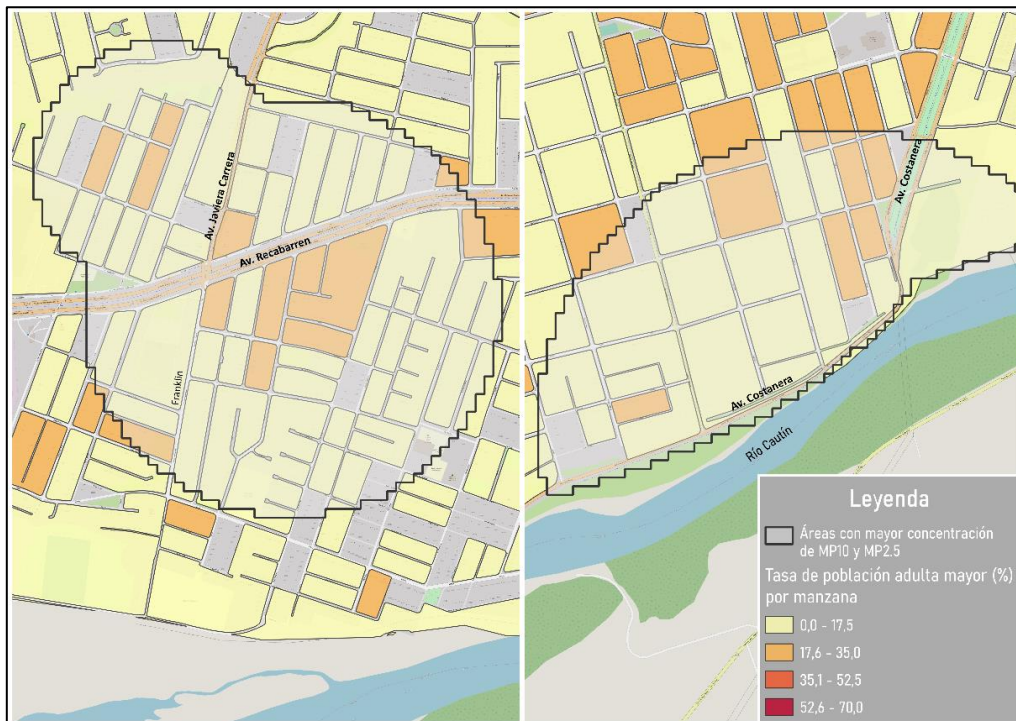
Anexo 56. Mapa coroplético del índice de masculinidad por manzana en los sectores de Vista verde-amanecer (izquierda) y Santa Rosa bajo (derecha).



Anexo 57. Mapa coroplético de la tasa de población infantil menor de 5 años en los sectores de Vista verde-amanecer (izquierda) y Santa Rosa bajo (derecha).



Anexo 58. Mapa coroplético de la tasa de población adulta mayor por manzana en los sectores de Vista verde-amanecer (izquierda) y Santa Rosa bajo (derecha).



Anexo 59. Mapa coroplético de la tasa de población inmigrante por manzana en los sectores de Vista verde-amanecer (izquierda) y Santa Rosa bajo (derecha).



Anexo 60. Mapa coroplético de la tasa de población auto-considerada indígena por manzana en los sectores de Vista verde-amanecer (izquierda) y Santa Rosa bajo (derecha).



Bibliografía

Álvarez, B., & Boso, A. (2018). Representaciones sociales de la contaminación del aire y las estufas de leña en diferentes niveles socioeconómicos de la ciudad de temuco, Chile. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 34 (3) 527-540.

Amigo, C., Araya, P., Billi, M., Calvo, R., Oyarzún, T., & Urquiza, A. (2018). "Políticas públicas y pobreza energética en Chile: ¿una relación fragmentada?" Red de Pobreza Energética (redPE). ISBN: 978-956-398-073-8

Biblioteca del Congreso Nacional BCN (2005). Ministerio del Medio Ambiente Declara zona saturada por material particulado respirable mp10, como concentración de 24 horas, a las comunas de Temuco y Padre las casas. Decreto 35 del Ministerio secretario general de la presidencia. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=237789&f=2005-05-11&p=>

Biblioteca del Congreso Nacional BCN (2015). Ministerio del Medio Ambiente Establece Plan de Descontaminación Atmosférica por MP2,5, para las comunas de Temuco y Padre las casas actualización del plan de descontaminación por MP10, para las mismas comunas. Decreto 8 del Ministerio secretario general de la presidencia. <https://www.leychile.cl/N?i=1084085&f=2015-11-17&p=>

Boso, A., Hofflinger, A., Garrido, J., & Álvarez, B. (2020). Breathing clean air or cheaply heating your home: an environmental justice dilemma in Chilean Patagonia. *Geographical Review* 00(00): 1–21. <https://doi.org/10.1080/00167428.2020.1845955>

Boso, A., Ariztía, T., & Fonseca, F. (2017). Usos, resistencias y aceptación de tecnologías energéticas emergentes en el hogar. El caso de la política de recambio de estufas en Temuco, Chile. *Revista Internacional de Sociología*, 75 (4): e078 doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ris.2017.75.4.17.04>

CENMA (2002). Estudio de apoyo para la elaboración de un plan de descontaminación para las comunas de Temuco y Padre Las Casas generación de información sobre condiciones de calidad del aire. CENMA Santiago, Chile.

Dye, T., & Chan, A. (2016). AIRNow AIR QUALITY NOTIFICATION AND FORECASTING SYSTEM. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina, USA.

EMOL (2002). Niveles de contaminación ambiental en Temuco y Osorno son alarmantes. Francisca Prieto, EMOL. Sección "Nacional". <https://www.emol.com/noticias/nacional/2002/03/27/81831/niveles-de-contaminacion-ambiental-en-temuco-y-osorno-son-alarmantes.html>

Fayiga, A., Ipinmoroti, M., & Chirenje, T. (2018). Environmental pollution in Africa. *Environ Dev Sustain* 20, 41–73. <https://doi.org/10.1007/s10668-016-9894-4>

Gholampour, A., Nabizadeh, R., Naseri, S., Yunesian, M., Taghipour, H., Rastkari, N., Nazmara, S., Faridi, S., & Mahvi, A. (2014). Exposure and health impacts of outdoor particulate matter in two urban and industrialized area of Tabriz, Iran. *Journal of environmental health science, engineering*. 12. 27. 10.1186/2052-336X-12-27.

Huneus, N., Urquiza A., Gayó, E., Osses, M., Arriagada, R., Valdés, M., Álamos, N., Amigo, C., Arrieta, D., Basoa, K., Billi, M., Blanco, G., Boisier, J.P., Calvo, R., Casielles, I., Castro, M., Chahuán, J., Christie, D., Cordero, L., Correa, V., Cortés, J., Fleming, Z., Gajardo, N., Gallardo, L., Gómez, L., Insunza, X., Iriarte, P., Labraña, J., Lambert, F., Muñoz, A., Opazo, M., O’Ryan, R., Osses, A., Plass, M., Rivas, M., Salinas, S., Santander, S., Seguel, R., Smith, P., & Tolvett, S. (2020). El aire que respiramos: pasado, presente y futuro – Contaminación atmosférica por MP2,5 en el centro y sur de Chile. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2, (ANID/FONDAP/15110009), 102 pp.

Hofflinger, A., Boso, A., & Oltra, C. (2019). The Home Halo Effect: how Air Quality Perception is Influenced by Place Attachment. *Human Ecology*.

IQair (2020). World Air Quality Report 2020. IQAir’s online air quality information platform.

INE (1993). Resultados oficiales censo de población 1992. Población Total País, Regiones, Comunas, por Sexo y Edad.

INE (2003). Resultados Generales Censo 2002. Volumen I, Población País-Región. Comisión nacional del xvii censo nacional de población y Vivienda.

(INE, 2017). Primera entrega de resultados definitivos. Censo 2017. Cantidad de personas por sexo y edad.

Junior, D.P.M., Bueno, C. & da Silva, C.M (2022). The Effect of Urban Green Spaces on Reduction of Particulate Matter Concentration. *Bull Environ Contam Toxicol* 108, pp. 1104–1110.
<https://doi.org/10.1007/s00128-022-03460-3>

Ma, J., Liu, B., Mitchell, G., & Dong, G. (2019). A spatial analysis of air pollution and environmental inequality in Beijing, 2000–2010, *Journal of Environmental Planning and Management*, DOI: 10.1080/09640568.2018.1560003

Karlsson, B. S., Håkansson, M., Sjöblom, J., & Ström, H. (2020). Light my fire but don’t choke on the smoke: Wellbeing and pollution from fireplace use in Sweden. *Energy Research & Social Science*, 69, 101696–. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101696>

Matus, P., & Oyarzún, M. (2019). Impacto del Material Particulado aéreo (MP2,5) sobre las hospitalizaciones por enfermedades respiratorias en niños: estudio caso-control alterno. *Rev Chil Pediatr*. 90 (2):166-174. 10.32641/rchped.v90i2.750

MMA (2015). Ministerio del Medio Ambiente. Establece plan de descontaminación atmosférica por mp2,5, para las comunas de Temuco y Padre las casas actualización del plan de descontaminación por MP10, para las mismas comunas. Biblioteca del Congreso Nacional, Decreto 8, Plan de descontaminación atmosférica para las comunas de Temuco y Padre las casas.

Mukherjee, A., & Agrawal, M. (2017). World air particulate matter: sources, distribution and health effects. *Environ Chem Lett* 15, 283–309. <https://doi.org/10.1007/s10311-017-0611-9>

Li, X., Song, H., Zhai, S., Siqi Lu, S., Kong, Y., Xia, H., & Zhao, H. (2019). Particulate matter pollution in Chinese cities: Areal-temporal variations and their relationships with meteorological conditions (2015-2017). *Environmental Pollution* 246, pp 11-18.

Ostrom (2000). "El gobierno de los bienes comunes. La evolución de las instituciones de acción colectiva". Universidad Nacional Autónoma de México y Fondo de Cultura Económica (Versión en español). ISBN 968-1 6-6343-8

Pala, D., Casella, V., Larizza, C., Malovini, A., & Bellazzi, R. (2022). Impact of COVID-19 lockdown on PM concentrations in an Italian Northern City. A year-by-year assessment. PLoS ONE 17(3): e0263265. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263265>

Perrone, M., Vratolis, S., Georgieva, E., Torok, S., Sega, K., Veleva, B., Osan, J., Beslic, I., Kertesz, Z., Pernigotti, D., Eleftheriadis, K. & Belis, C. (2018). Sources and geographic origin of particulate matter in urban areas of the Danube macro-region: the cases of Zagreb (Croatia), Budapest (Hungary) and Sofia (Bulgaria), SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT, ISSN 0048-9697, 619-620, p. 1515-1529, JRC107486.

Schueftan, A., & González, A. (2015). Proposals to enhance thermal efficiency programs and air pollution control in south-central Chile. Energy Policy 79, pp. 48–57.

Schueftan, A., Sommerhoff, J., & González, A. (2016). Firewood demand and energy policy in south-central Chile. Energy for Sustainable Development 33, 26–35.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.esd.2016.04.004>

Slezakova, K., & Pereira, M.C. (2021). 2020 COVID-19 lockdown and the impacts on air quality with emphasis on urban, suburban and rural zones. Sci Rep 11, 21336. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-99491-7>

Soares, F., Antonino, J., Marinho, F., Silva, F., Toledo de Almeida, T., & de Fátima, M. (2019). Avaliação da influência das condições meteorológicas na concentração de material particulado fino (MP2,5) em Belo Horizonte, MG. Eng Sanit Ambient, v.24 n.2, pp 371-381. doi: 10.1590/S1413-41522019174045

Reyes, R., Schueftan, A., Ruiz, C., & González, A. (2019). Controlling air pollution in a context of high energy poverty levels in southern Chile: Clean air but colder houses? Energy Policy 124, 301–311. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.10.022>

OECD (2012). Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction. ISBN 978-92-64-122161.

OMS (2014). OMS estima que 7 millones de muertes ocurren cada año debido a la contaminación atmosférica. Publicado por OPS.
https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=9406:2014-7-million-deaths-annually-linked-air-pollution&Itemid=135&lang=es

Thompson (2018). Airborne Particulate Matter: Human Exposure and Health Effects. J Occup Environ Med ;60(5): 392-423. doi: 10.1097/JOM.0000000000001277. PMID: 29334526.

Yañez, M., Baettig, R., Cornejo, J., Zamudio, F., Guajardo, J., & Fica, R. (2017). Urban airborne matter in central and southern Chile: Effects of meteorological conditions on fine and coarse particulate matter. *Atmospheric Environment*, doi: 10.1016/j.atmosenv.2017.05.007.