



Módulo 1:

Contexto del Plan de Descontaminación Atmosférica y Análisis climático de las zonas

TABLA DE CONTENIDO

1. OBJETIVOS:	3
2. CONTEXTO DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	3
2.1. INTRODUCCIÓN AL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN: OBJETIVOS, ALCANCE Y FUNDAMENTOS.....	3
2.2. PRINCIPALES FUENTES DE CONTAMINACIÓN EN LA REGIÓN DEL MAULE.....	5
2.3. NORMATIVAS VIGENTES Y SU IMPACTO EN EL DESARROLLO REGIONAL	9
3. ANÁLISIS CLIMÁTICO DE LAS ZONAS	11
3.1. ELEMENTOS DEL CLIMA	11
3.2. FACTORES DEL CLIMA	12
3.3. CLIMA DE LA REGIÓN DEL MAULE	12
3.4. HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS CLIMÁTICO	15
3.5. MÉTODOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS CLIMÁTICOS	16

1. Objetivos:

- Comprender la importancia y necesidad del plan de descontaminación atmosférica específicamente para la región del Maule.
- Analizar los factores contaminantes más significativos y sus fuentes.
- Identificar las políticas y regulaciones actuales y cómo estas afectan la planificación urbana y la calidad de vida.
- Entender los patrones climáticos predominantes en la región del Maule y su variabilidad.
- Capacidad para realizar análisis climáticos que fundamenten decisiones en proyectos de construcción y urbanismo.
- Adquirir habilidades prácticas en la recopilación y análisis de datos climáticos.

2. Contexto del Plan de Descontaminación Atmosférica

2.1. Introducción al plan de descontaminación: objetivos, alcance y fundamentos

Los planes de descontaminación atmosférica (PDA) son iniciativas gubernamentales que buscan abordar y mitigar los problemas de contaminación atmosférica en áreas específicas. En el contexto del valle central de la provincia de Curicó y de las comunas de Talca y Maule, estos planes se desarrollan en respuesta a preocupaciones sobre la calidad del aire y los niveles de contaminantes en la región.

Factores como el tráfico vehicular, la actividad industrial, la calefacción residencial (en especial el uso de leña) y las condiciones geográficas pueden contribuir a la acumulación de contaminantes en el aire, como material particulado (MP10 y MP2,5), CO, NOx, SO2, COV y NH3, lo que afecta la salud pública y el medio ambiente.

Los PDA buscan identificar las fuentes de contaminación atmosférica, evaluar los niveles de contaminantes y establecer medidas específicas para reducir las emisiones y mejorar la calidad del aire. Esto puede incluir la implementación de tecnologías más limpias en la industria, regulaciones más estrictas sobre emisiones vehiculares, programas de eficiencia energética en hogares y promoción de medios de transporte sostenibles, entre otras acciones.

2.1.1. Objetivos PDA

Objetivo general:

Recuperar los niveles señalados en la norma primaria de Calidad Ambiental para el material particulado (MP2,5 y MP10), en un plazo de 10 años.

Objetivos Específicos:

- Reacondicionamiento térmico de viviendas, para la disminución del requerimiento energético.
- Sustitución de sistemas de calefacción contaminantes por sistemas eficientes y con menos emisiones, para una reducción las emisiones a la atmósfera y las intradomiciliarias.
- Mejoramiento de la calidad de la leña y disponibilidad de otros combustibles.
- Educación y sensibilización a la comunidad.

2.1.2. Alcances PDA

- Reducción de Emisiones de Fuentes Fijas.
- Control de Emisiones de Fuentes Móviles.
- Gestión de la Contaminación Residencial.
- Monitoreo y Vigilancia de la Calidad del Aire

- Promoción de Energías Renovables y Eficiencia Energética.
- Educación y Participación Ciudadana.
- Medidas Específicas para Días Críticos.

2.1.3. Fundamentos PDA

El PDA se fundamenta en una combinación de los siguientes principios: cumplimiento legal, evidencia científica, objetivos de salud pública, sostenibilidad, participación ciudadana, y el uso de tecnologías avanzadas para lograr una mejora significativa en la calidad del aire y la calidad de vida de los habitantes. Estos principios se abordan con más detalle a continuación:

2.1.3.1. Cumplimiento de Normativas Legales y Reglamentarias:

- **Normativas Nacionales:** El PDA se enmarca en el cumplimiento de la Ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente y sus reglamentos asociados, así como en el Decreto Supremo N° 59 del Ministerio del Medio Ambiente, que establece normas primarias de calidad del aire.
- **Estándares Internacionales:** El plan también se alinea con recomendaciones y estándares internacionales de calidad del aire establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y otros organismos internacionales.

2.1.3.2. Evidencia Científica y Técnica:

- **Estudios de Calidad del Aire:** El PDA se basa en estudios detallados sobre la calidad del aire, identificando las principales fuentes de contaminación y los contaminantes predominantes, como material particulado fino (PM2.5) y grueso (PM10).
- **Impactos en la Salud:** Los fundamentos del plan incluyen evidencia científica sobre los efectos adversos de la contaminación del aire en la salud pública, particularmente en enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

2.1.3.3. Objetivos de Salud Pública:

- **Reducción de Enfermedades:** Un objetivo central del PDA es la disminución de la incidencia de enfermedades relacionadas con la contaminación del aire, mejorando así la calidad de vida y la esperanza de vida de los habitantes.
- **Protección de Grupos Vulnerables:** El plan pone un énfasis particular en la protección de grupos vulnerables, como niños, ancianos y personas con enfermedades preexistentes.

2.1.3.4. Principios de Sostenibilidad y Desarrollo Sostenible:

- **Uso Eficiente de Recursos:** Fomentar el uso eficiente y sostenible de los recursos energéticos, promoviendo energías renovables y tecnologías limpias.
- **Equilibrio Ambiental:** Promover un equilibrio entre el desarrollo económico y la protección del medio ambiente, asegurando un desarrollo sostenible para las futuras generaciones.

2.1.3.5. Participación Ciudadana y Educación Ambiental:

- **Involucramiento Comunitario:** El PDA se basa en la participación activa de la comunidad y las organizaciones sociales, asegurando que las medidas adoptadas cuenten con el respaldo y colaboración de los habitantes.
- **Educación y Conciencia Ambiental:** Promover la educación y la concienciación ambiental para que la población adopte prácticas sostenibles y colabore en la reducción de la contaminación.

2.1.3.6. Instrumentos de Gestión y Control:

- **Monitoreo Continuo:** Implementación de una red de monitoreo continuo de la calidad del aire para evaluar la efectividad de las medidas adoptadas y ajustar las estrategias según sea necesario.
- **Regulación y Fiscalización:** Establecimiento de mecanismos de regulación y fiscalización para asegurar el cumplimiento de las normativas y las medidas del plan.

2.1.3.7. Innovación y Adaptabilidad:

- **Tecnologías Limpias:** Fomentar la adopción de tecnologías innovadoras y limpias en la industria, el transporte y el sector residencial.
- **Adaptación y Mejora Continua:** El PDA incluye mecanismos para la revisión y actualización periódica de sus medidas, asegurando que se mantenga relevante y efectivo frente a nuevos desafíos y avances tecnológicos.

2.2. Principales fuentes de contaminación en la Región del Maule

2.2.1. Red de monitoreo de Calidad del Aire

La zona cuenta con una red de vigilancia de calidad del aire compuesta por 4 estaciones de monitoreo clasificadas como Estaciones de Monitoreo con Representatividad Poblacional (EMRP), según se indica en la Tabla 1 a continuación:

Tabla 1: Estaciones de Monitoreo de Calidad del Aire Región del Maule.

Comuna	Estación	Resolución EMRP (SMA)
Curicó	Curicó	N°617/2015
Talca	Universidad de Talca	N°382/2016
	Talca La Florida	N°1841/2020
	Católica del Maule	N°71/2016
Linares	Linares	N°263/2017

Fuente: elaboración propia en base a Departamento de Redes de Monitoreo, MMA.

2.2.2. Fuentes emisoras de Material Particulado MP2,5

De acuerdo con las estimaciones del Inventario de Emisiones para la región del Maule, las emisiones de MP2,5 en el año 2017, alcanzaron un valor anual de 12.829 [ton/año], de las cuales un 83% corresponde a fuentes del tipo areal y un 8,3% a fuentes fijas, concentrando el mayor aporte de emisiones durante el periodo mayo-agosto, donde se observa un incremento de las emisiones areales que alcanza un 91% (9.914 ton. de MP2,5), lo que se relaciona principalmente con las emisiones de combustión de biomasa. El detalle de las emisiones se muestra en la Tabla 2 y Tabla 3.

Tabla 2: Emisiones totales para la Región del Maule año 2017 (ton/año).

Grupo	MP10	MP2,5	CO	COV	S02	NOx	NH3
Fuentes areales	11.430	10.653	186.461	150.602	124	2.093	3.943
Fuentes fijas	1.325	1.062	39.528	599	4.051	15.911	829
Fuentes móviles	739	734	46.630	6.036	33	13.673	157
Polvo fugitivo	2.202	380	-	-	-	-	-
Total	15.696	12.829	272.620	157.237	4.208	31.677	4.930

Fuente: Inventario de emisiones, modelación de contaminantes atmosféricos y delimitación de zona saturada, para la región del Maule.

Tabla 3: Emisiones totales para la Región del Maule (mayo-agosto) año 2017 (ton/año).

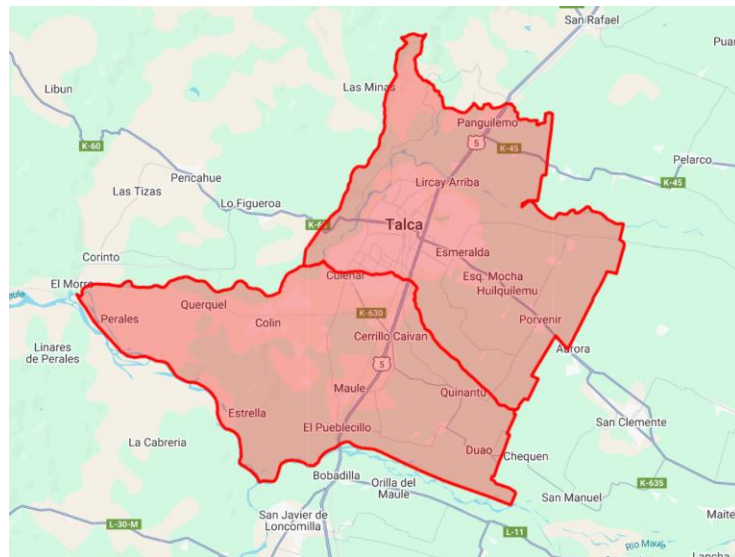
Grupo	MP10	MP2,5	CO	COV	SO ₂	NOx	NH ₃
Fuentes areales	8.500	7.911	142.773	92.428	80	1.478	1.434
Fuentes fijas	464	379	16.004	258	1.356	6.220	320
Fuentes móviles	251	249	15.478	2.017	11	4.658	52
Polvo fugitivo	718	127	-	-	-	-	-
Total	9.932	8.666	174.256	94.703	1.447	12.355	1.806

Fuente: Inventario de emisiones, modelación de contaminantes atmosféricos y delimitación de zona saturada, para la región del Maule.

2.2.3. Zonas saturadas

Actualmente en la Región de Maule, existen dos zonas saturadas vigentes: las comunas de Talca y Maule (véase Ilustración 1), zona saturada por MP10 (D.S. N°12/2010 MMA) y el valle central de la provincia de Curicó (véase Ilustración 2), zona saturada por MP2,5, que incluye a parte del territorio de las comunas de Curicó, Molina, Rauco, Romeral, Sagrada Familia y Teno (D.S. N°53/2015 MMA). Ambos cuentan con un Plan de Descontaminación Atmosférica vigente.

Ilustración 1: Polígono zona saturada por MP10, comunas de Talca y Maule



Fuente: Portal de Planes de descontaminación Atmosférica, MMA.

de aire y medidas de descontaminación en las comunas de Talca y Maule", la información actualizada se muestra en la Tabla 5 y Tabla 6.

Tabla 5: Inventario de emisiones de Talca y Maule en escenario base 2012.

Tipo de fuente	MP10 ton/año	%	MP2,5 ton/año	%
Fuentes fijas	187,7	14,8	134,2	11,4
Calefacción residencial leña	974,6	76,7	947,9	80,9
Incendios forestales	7,5	0,6	6,6	0,6
Quemas agrícolas	67,6	5,3	57,3	0,6
Fuentes móviles	32,8	2,6	25,9	4,9
Total	1.270,2	100,0	1.171,9	100,0

Fuente: PDA Talca y Maule.

Tabla 6: Emisiones fugitivas Talca y Maule en escenario base 2012.

Tipo de fuente	MP10 ton/año	MP2,5 ton/año
Caminos sin pavimentar	817,5	81,7

Fuente: PDA Talca y Maule.

2.2.3.3. Incidencia del uso de leña en la contaminación del aire Curicó

Las emisiones de material particulado MP2,5 generadas por la calefacción residencial con leña son producidas mayoritariamente en la comuna de Curicó, relacionado principalmente a la cantidad de población de dicha comuna. En la Tabla 7 se presenta el aporte de MP2,5 por calefacción a leña en cada comuna.

Tabla 7: Total de emisiones por uso de leña (ton/año).

Comuna	MP2,5	%
Curicó	411,5	48,8
Molina	139,6	16,5
Rauco	32,6	3,9
Romeral	47,7	5,7
Sagrada Familia	68,4	8,1
Teno	143,8	17,0
Total	843,6	100,0

Fuente: PDA Curicó.

Se estima que las comunas de Molina, Rauco, Romeral y Sagrada Familia tienen un mayor consumo de leña en la zona urbana respecto a la zona rural; y, por el contrario, en la comuna de Curicó y Teno, el consumo de leña es mayor en la zona rural.

Los principales artefactos utilizados por las familias en las comunas de la zona saturada corresponden a calefactores de combustión lenta (63,4%) y salamandras (20,8%), y, por lo tanto, el uso principal es para calefacción y en menor medida para cocinar.

2.2.3.4. Incidencia del uso de leña en la contaminación del aire Talca y Maule

El porcentaje de viviendas que utilizan leña para calefacción es de un 50% en la comuna de Talca y un 61% en la comuna de Maule, el detalle de las emisiones domiciliarias por comuna se puede apreciar en la Tabla 8.

En las comunas de Talca y de Maule, el periodo entre los meses de mayo y agosto es en el cual se utiliza más intensivamente la leña.

Tabla 8: Emisiones combustión de leña residencial, para total de viviendas por tipo de artefacto, año base 2012 (ton/año).

	Equipo	Emisiones (ton/año)						
		MP10	MP2,5	CO	NOx	COV	SOx	NH ₃
Talca	Salamandra	40,5	39,3	336,1	3,0	304,8	0,5	2,5
	Cámara simple + templador	485,1	472,3	4.419,3	46,1	1.014,8	6,6	36,2
	Cocina de fierro	80,5	78,0	577,2	5,1	523,3	0,8	4,3
	Cámara simple	210,0	204,1	1.041,4	10,9	239,1	1,6	8,5
	Chimenea	16,7	16,2	138,8	1,2	125,9	0,2	1,0
	Estufa de lata	32,6	31,6	270,3	2,4	245,1	0,4	2,0
	Horno de barro	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Otros	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Subtotal	865,4	841,6	6.783,1	68,6	2.453,0	9,9	54,7	
Maule	Salamandra	2,8	2,7	23,5	0,2	21,3	0,0	0,2
	Cámara simple + templador	90,4	88,0	823,7	8,6	189,2	1,2	6,8
	Cocina de fierro	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Cámara simple	13,2	12,8	65,2	0,7	15,0	0,1	0,5
	Chimenea	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Estufa de lata	2,8	2,7	23,5	0,2	21,3	0,0	0,2
	Horno de barro	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Otros	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Subtotal	109,2	106,3	935,9	9,7	246,7	1,4	7,6	
Total	974,6	947,9	7.719,0	78,3	2.699,6	11,3	62,3	

Fuente: PDA Talca y Maule.

2.3. Normativas vigentes y su impacto en el desarrollo regional

2.3.1. Normativa PDA

2.3.1.1. Valle Central Provincia de Curicó.

- **D.S. N° 53/2015 del MMA:** Declara zona saturada por MP2,5, como concentración de 24 horas, al Valle Central de la provincia de Curicó.
- **DS N°44/2017 del MMA:** Establece Plan de Descontaminación Atmosférica para el Valle Central Provincia de Curicó.
- **Resolución Exenta N°34/2021:** Define zonas territoriales de gestión de episodios críticos de contaminación por material particulado fino MP2,5, en el valle central de la Provincia de Curicó
- **Resolución N° 30/2022:** Aprueba y formaliza el plan operacional de gestión de episodios críticos de contaminación por MP2,5.

2.3.1.2. Comunas de Talca-Maule

- **D.S. N.º 12/2010 del MMA:** Declara zona saturada por MP10, a las comunas de Talca y Maule
- **D.S. N.º 49/2016 del MMA:** PDA para las comunas de Talca y Maule
- **D.S. N.º 90/2018 del MMA:** Modifica PDA Talca- Maule (art 37)
- **D.S. N.º 30/2019 del MMA:** Modifica PDA Talca - Maule (art.36)
- **Resolución Exenta N°33/2021:** Define zonas territoriales de gestión de episodios críticos de contaminación por material particulado respirable MP10, en las comunas de Talca y Maule
- **Resolución N° 29/ 2022:** Aprueba y formaliza el plan operacional de gestión de episodios críticos de contaminación por MP10

2.3.2. Comercio de leña

- **Resolución Exenta N.º 651/2020 SMA**

Esta instrucción establece que los titulares de comercio a leña se deben inscribir en el sistema que la SMA (Superintendencia del Medio Ambiente) dispondrá para estos fines, y deberán reportar mensualmente la humedad de la leña que se comercializa entre otras variables.

- **Resolución Exenta N°937/2015**

Este protocolo establece requisitos técnicos para la medición de humedad de leña y la determinación del contenido de humedad en base a las Normas Chilenas NCh2965, NCh2907 y NCh2827.

2.3.3. Uso de artefactos de calefacción

- **Resolución Exenta N.º 498/2020 SMA**

Esta instrucción permitirá disponer de información acerca del tipo de artefacto que se encuentran utilizando los sujetos regulados, tanto públicos como privados, y establecer mecanismos de colaboración a través de los programas de recambio con el Ministerio del Medio Ambiente a aquellos establecimientos que aún no hayan recambiado sus artefactos a leña.

2.3.4. Impactos

2.3.4.1. Económico

Positivos

- **Innovación y Tecnología:** La necesidad de cumplir con las nuevas normativas impulsa la adopción de tecnologías limpias y más eficientes en diversas industrias, generando un mercado para soluciones innovadoras y tecnológicas.
- **Creación de Empleos Verdes:** La implementación de medidas de descontaminación genera empleos en sectores relacionados con la instalación y mantenimiento de sistemas de calefacción más limpios, energías renovables y gestión ambiental.
- **Subsidios y Apoyos:** Programas de subsidios para el recambio de calefactores y la implementación de tecnologías limpias proporciona un impulso económico, beneficiando tanto a consumidores como a proveedores locales.

Negativos

- **Costos de Adaptación:** Las industrias y los hogares tienen que invertir en nuevos equipos y tecnologías para cumplir con las normativas, lo que puede ser costoso, especialmente para las pequeñas y medianas empresas.

- **Impacto en la Agricultura:** Las restricciones en prácticas tradicionales, como las quemas agrícolas, afectan a los agricultores, quienes tienen que adoptar métodos alternativos, a menudo más costosos.

2.3.4.2. Social

Positivos:

- **Mejora de la Salud Pública:** La reducción de la contaminación del aire resulta en una disminución de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, mejorando la calidad de vida de la población.
- **Concienciación y Educación:** Los programas educativos aumentan la concienciación sobre la importancia de la calidad del aire y la adopción de prácticas más sostenibles.

Negativos:

- **Resistencia al Cambio:** Algunas comunidades han mostrado resistencia a cambiar sus prácticas tradicionales, lo que puede generar tensiones sociales y la necesidad de programas de sensibilización más intensivos.

2.3.4.3. Ambiental

- **Reducción de Emisiones:** La implementación de medidas como la regulación de emisiones industriales y la sustitución de calefactores a leña resultada en una significativa reducción de los niveles de material particulado fino (PM2.5) y otros contaminantes.
- **Protección de Ecosistemas:** La mejora de la calidad del aire y la disminución de la contaminación benefician a los ecosistemas locales, promoviendo la biodiversidad y la salud ambiental.

2.3.4.4. Gestión Pública

Positivos:

- **Fortalecimiento Institucional:** La implementación del PDA lleva a un fortalecimiento de las capacidades institucionales a nivel regional, mejorando la capacidad de monitoreo y fiscalización.
- **Participación Ciudadana:** La inclusión de la ciudadanía en el proceso de elaboración y seguimiento del PDA aumenta la transparencia y la legitimidad de las políticas ambientales.

Negativos:

- **Desafíos en la Implementación:** La implementación efectiva de las medidas del PDA requiere coordinación entre múltiples actores, lo que puede ser complejo y demandante en términos de recursos.

3. Análisis climático de las zonas

3.1. Elementos del clima

- **Temperatura:** Es la cantidad de energía calorífica que posee el aire en un momento determinado.
- **Precipitación:** Es la caída al suelo del agua contenida en la atmósfera. Puede ser en forma de agua, de nieve, de brumas o de rocío y se produce cuando la atmósfera no puede contener más agua y esta se condensa y precipita. Se mide en litros por metro cuadrado de superficie (l/m²), o su medida equivalente milímetros de altura del agua caída (mm). El instrumento de medición es el pluviómetro.
- **Humedad:** La humedad absoluta es la cantidad de vapor de agua presente en el aire y se mide en g/m³. La humedad relativa es la relación entre la cantidad de vapor de agua que contiene el aire y la máxima cantidad de vapor de agua que puede contener a una determinada temperatura.
- **Viento:** Es el movimiento del aire en la atmósfera, que se desplaza desde las zonas de altas presiones a las de bajas presiones. Aunque este movimiento tiene lugar en las tres dimensiones del espacio, en meteorología se mide sólo la velocidad y dirección de su componente en el plano horizontal.

- **Presión atmosférica:** Es el peso de la columna de aire sobre una unidad de superficie. Se expresa en pascales (Pa). Como esta unidad resulta pequeña, habitualmente se utiliza el hectopascal (hPa) o su equivalente el milibar (mbar). La presión atmosférica desciende con la altitud.

3.2. Factores del clima

- **Latitud:** Es la distancia angular que hay desde un punto en la superficie de la tierra hasta el ecuador. Se mide en grados, minutos y segundos. Cuanto más cerca se encuentre un lugar del ecuador menos variación habrá en la duración de los días y la energía solar incidirá más vertical y con más intensidad sobre él, por lo que más cálidas serán las temperaturas.
- **Circulación atmosférica:** Los vientos planetarios son los vientos que predominan en la Tierra. Recorren grandes distancias y soplan casi siempre en la misma dirección. Se mueven entre los centros de acción, que son los cinturones de altas y bajas presiones de la Tierra.
- **Corrientes marinas:** Las corrientes marinas son masas de agua que se desplazan a lo largo de los océanos y recorren grandes distancias. Tienen una influencia muy importante en los climas de la Tierra ya que contribuyen a repartir el calor del trópico por el resto del planeta. Hay corrientes frías y corrientes cálidas, que enfrían o entibian las regiones que recorren e influyen en las presiones y humedad.
- **Distancia al mar:** El mar no se calienta tan deprisa como la tierra en verano y se enfría lentamente en invierno por lo que modera el clima de las costas, haciéndolo más templado que el del interior y con menor diferencia entre las temperaturas del mes más cálido y del más frío. Conforme nos alejamos del mar ese efecto desaparece y el rango de temperaturas es mayor tanto entre el día y la noche como entre el verano y el invierno.
- **Altitud:** Es la distancia vertical de un punto de la tierra respecto al nivel del mar. Al aumentar la altitud la temperatura disminuye aproximadamente un grado cada 154 metros (cada 180 en la zona intertropical), esto es debido a que conforme ascendemos la presión es menor y un gas al perder presión pierde temperatura.

3.3. Clima de la Región del Maule

3.3.1. Aspectos geográficos

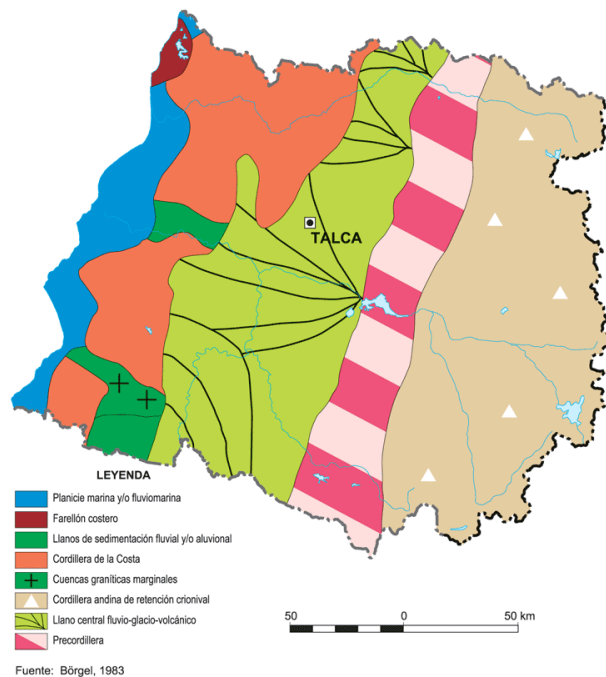
Según lo reportado en el informe N°211/20 de la Dirección Meteorológica de Chile, la Región de Maule se localiza entre los paralelos 34° 41' y 36° 33' latitud Sur y entre los 70° 00' y los 72° 40' longitud Oeste. Hacia el norte limita con la Región de O'Higgins, por el sur con la Región de Ñuble, al este con la República Argentina y al oeste con el Océano Pacífico. Su morfología presenta los 3 sistemas longitudinales típicos del relieve del país, donde los rasgos más sobresalientes lo constituye la Cordillera de Los Andes, la cual posee alturas promedio entre 2.500 y 3.500 metros, aunque algunas cumbres superan los 3.800 metros. Por otra parte, la Cordillera de la Costa, comienza a perder significativamente su altura, variando entre los 400 y los 1.000 metros y, por último, la Depresión Intermedia que constituye un amplio valle, con 40 kilómetros de ancho frente a Linares y un largo de 170 kilómetros. La Región posee una superficie de 30.296,1 km² y está compuesta por dos cuencas hidrográficas, la del Río Mataquito en el norte de la región y la cuenca del Río Maule en el sur, ambas se extienden desde la cordillera de los Andes hasta el océano Pacífico, las características resaltadas se pueden apreciar en la Ilustración 3 e Ilustración 4.

Ilustración 3: División política administrativa y geomorfología de la Región del Maule.



Fuente: Instituto Geográfico Militar.

Ilustración 4: Geomorfología de la Región del Maule



Fuente: Börgel, 1983

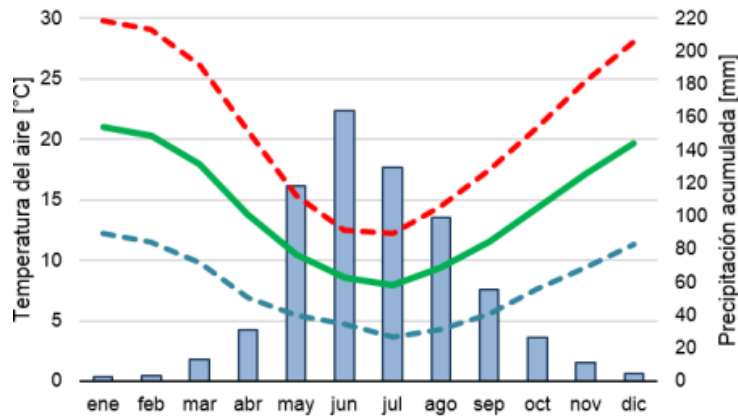
Fuente: Instituto Geográfico Militar.

3.3.2. Aspectos climatológicos

El clima de la región se define como templado cálido con estación seca y se ve influenciado directamente por las características orográficas del lugar, que ejercen su accionar sobre los registros de temperatura en

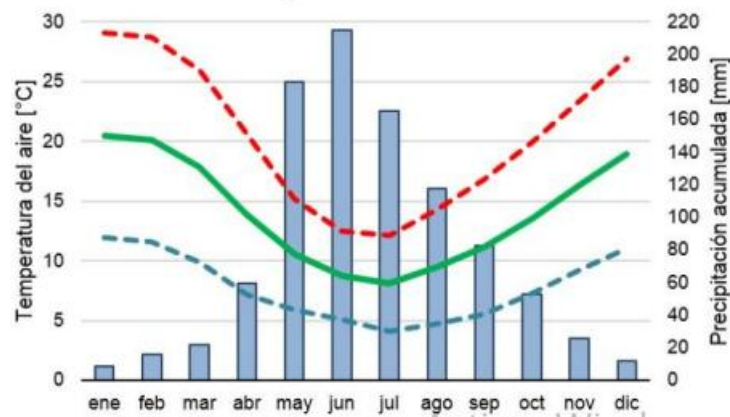
la región. Las temperaturas medias anuales para el valle central de la Región del Maule varían en torno a los 14°C, en Curicó y Parral, siendo la diferencia entre el mes más cálido y el más frío del orden de 13 y 12,4°C respectivamente.

Ilustración 5: Climograma para la zona de Curicó.



Fuente: Dirección Meteorológica de Chile.

Ilustración 6: Climograma para las zona de Parral.



Fuente: Dirección Meteorológica de Chile.

En los climogramas de las estaciones General Freire en Curicó (Ilustración 5) y Parral-DGA (Ilustración 6). Se muestran los valores mensuales de precipitación acumulada media (barras), temperatura media (línea continua verde), temperatura máxima media (línea discontinua roja) y temperatura mínima media (línea discontinua azul).

La temperatura máxima y mínima media varía de 13 a 29 °C y de 4 a 12°C, respectivamente, durante las distintas estaciones del año (Ver Tabla 9). Las amplitudes térmicas se observan más altas y bajas, en invierno con un valor entorno a los 17°C y 9°C, respectivamente, para las estaciones meteorológicas de General Freire y Parral.

Tabla 9: Temperaturas estacionales de Curicó y Parral.

Estaciones del año	General Freire, Curicó			Parral DGA		
	Temperatura del aire (°C)			Temperatura del aire (°C)		
	máxima	mínima	media	máxima	mínima	media
Otoño	20,7	7,4	14,1	20,6	7,6	14,1
Invierno	13,0	4,2	8,6	13,0	4,7	8,8
Primavera	21,1	7,5	14,3	20,0	7,4	13,7
Verano	28,9	11,7	20,3	28,2	11,5	19,9

Fuente: Dirección Meteorológica de Chile.

Las precipitaciones en la región son de características frontales concentrándose principalmente en el periodo invernal, alcanzando las precipitaciones entre los meses de mayo y agosto el 70% a 78% del total anual. Presenta una estación seca entre 3 y 5 meses, entre noviembre y marzo con precipitaciones inferiores a 20 milímetros mensuales. Las precipitaciones acumuladas medias (Ver Tabla 10) se concentran en invierno, con un acumulado de 374 a 393 mm entre General Freire y El Guindo; y de 420 a 498 mm entre San Javier y Parral.

Tabla 10: Valores medios de precipitación acumulada (mm), para estación del año.

Estaciones del año	General Freire, Curicó	Lontué	El Guindo	San Javier	Linares	Villa Longaví	Parral
Otoño	162,0	159,1	175,6	201,6	238,2	235,7	265,1
Invierno	392,9	374,8	380,4	421,8	471,3	479,7	497,5
Primavera	93,0	97,1	103,4	112,2	143,6	148,2	161,0
Verano	10,8	12,7	13,4	21,0	28,2	30,0	36,3

Fuente: Dirección Meteorológica de Chile.

3.4. Herramientas para el análisis climático

3.4.1. Modelos Climáticos Globales (GCMs)

- **Community Earth System Model (CESM):** Un modelo climático que simula la interacción entre la atmósfera, el océano, la tierra y el hielo marino para estudiar el clima pasado, presente y futuro.
- **Model for Interdisciplinary Research on Climate (MIROC):** Un GCM desarrollado en Japón que se utiliza para proyecciones climáticas y estudios de cambio climático.
- **Hadley Centre Coupled Model (HadCM):** Desarrollado por el Met Office del Reino Unido, este modelo simula el clima global para investigar los impactos del cambio climático.

3.4.2. Software de Análisis de Datos Climáticos

- **Climate Data Operator (CDO):** Un conjunto de comandos para el procesamiento y análisis de datos climáticos en formatos como NetCDF y GRIB.
- **NetCDF Operators (NCO):** Herramientas para la manipulación de archivos NetCDF, utilizados comúnmente en investigaciones climáticas.
- **Climate Analysis Tools (ClimAn):** Conjunto de herramientas para el análisis y la visualización de datos climáticos, principalmente en R.

3.4.3. Estaciones Meteorológicas y Sensores

- **Estaciones meteorológicas automáticas:** Dispositivos que registran datos meteorológicos como temperatura, humedad, presión atmosférica y velocidad del viento.
- **Sensores de humedad y temperatura:** Instrumentos específicos para medir la humedad relativa y la temperatura del aire, esenciales para estudios climáticos locales.
- **Pluviómetros:** Dispositivos que miden la cantidad de precipitación en un área, crucial para el análisis hidrológico y climático.

3.4.4. Bases de Datos Climáticas

- **National Climatic Data Center (NCDC):** Una de las mayores bases de datos de clima del mundo, proporcionando acceso a datos históricos y actuales.
- **European Climate Assessment & Dataset (ECA&D):** Base de datos europea que ofrece acceso a datos de estaciones meteorológicas para estudios climáticos.
- **Berkeley Earth Surface Temperature (BEST):** Proyecto que proporciona una base de datos global de temperaturas superficiales terrestres para estudios climáticos.

3.5. Métodos de recolección de datos climáticos

- **Estaciones Meteorológicas Terrestres:** Son instalaciones equipadas con diversos instrumentos para medir variables meteorológicas como temperatura, humedad, precipitación, presión atmosférica y velocidad del viento. Se utilizan para monitorear el clima local en tiempo real y para la recopilación de datos a largo plazo.
- **Drones y Aviones de Investigación:** Vehículos aéreos no tripulados y aviones equipados con instrumentos para recolectar datos atmosféricos y de superficie en áreas de difícil acceso. Utilizados para estudios detallados de áreas específicas, como zonas polares o regiones afectadas por eventos extremos.
- **Instrumentos de Superficie:** Sensores y equipos instalados en la superficie terrestre para medir variables específicas, como pluviómetros para precipitación y anemómetros para viento. Complementan los datos de las estaciones meteorológicas y proporcionan mediciones precisas a nivel local.
- **Estaciones de Monitoreo de Calidad del Aire:** Instalaciones que miden la concentración de contaminantes atmosféricos como ozono, partículas PM2.5 y PM10, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno. Importantes para estudiar la interacción entre la contaminación del aire y el clima.