DECRETO ALCALDICIO N°918

SANTA MARIA, 03.12.2025

VISTOS: Decreto Alcaldicio Nº4644 de fecha 06.12.2024 de la I. Municipalidad de Santa María. Las Facultades y Atribuciones que me confiere la Ley Nº 18.695, Orgánica Constitucional de Municipalidades.

CONSIDERANDO: Sesión Ordinaria Nº34 de fecha 03/12/2025, en conformidad a la presentación efectuada por la Directora de SECPLA Sra. Elizabeth Villalobos y Profesional Sra.Fernanda Rojas.

APRUEBASE : El Acuerdo del Concejo Municipal Nº 230 de fecha 03 de Diciembre de 2025 adoptado en Sesión Ordinaria N°34 correspondiente al siguiente tenor.

Con la presencia de la Srta. Marybel Mancilla Vargas, Secretaria Municipal, en su calidad de Ministro de Fé, el Honorable Concejo Municipal, integrado por el Sr. Alcalde Don Claudio Zurita Ibarra y los Concejales; Don Danilo Arancibia Brante, Doña Marisol Ponce Cisterna, Don Miguel Muñoz Soto, Don Abel Valdivia Rozas, Doña María Cristina Meza Espinoza y Don José Grbic Bernal; **Se acuerda Aprobar en forma unánime, PLan de Acción Cambio Climático 2026-2029.**

"ANÓTESE, COMUNIQUESE Y CUMPLASE"

CLAUDIO ZURITA IBARRA
PROFESOR
ALCALDE DE SANTA MARIA

MARYBEL MANCILLA VARGAS
ASISTENTE SOCIAL
SECRETARIA MUNICIPAL

Vº Bº
DIRECTOR DE CONTROL

CZI.MMV.RAL.jvm.2025
DISTRIBUCIÓN:
- SECPLA
- Archivo Secretaría Municipal.

ACUERDO N° 230/2025

SESIÓN ORDINARIA N°034 de fecha 03/12/2025

CONCEJO MUNICIPAL SANTA MARÍA

El Secretario Municipal que suscribe, certifica que:

En Sesión Ordinaria del Honorable Concejo Municipal de Santa María, celebrada con fecha 03 de Diciembre/2025, en conformidad a la presentación efectuada por la Directora de SECPLA Sra. Elizabeth Villalobos y profesional Sra. Fernanda Rojas, se acuerda Aprobar, Plan de acción cambio climático 2026 - 2029.

Asistieron a la citada sesión con votos favorables:

El señor Alcalde Don Claudio Zurita Ibarra, los señores Concejales (as); Don Danilo Arancibia Brante; Doña Marisol Ponce Cisterna; Don Miguel Muñoz Soto; Don Abel Valdivia Rozas; Doña María Cristina Meza Espinoza y Don José Grbic Bernal.

MARYBEL MANCILLA VARGAS
SECRETARIO MUNICIPAL
MINISTRO DE FE

MMV/mmv Diciembre 2025.

Distribución:
- Dpto. SECPLA.
- Archivo Secretaría Municipal.
- Administración Municipal.

PLAN DE ACCIÓN CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO COMUNA DE SANTA MARIA 2026-2029



PALABRAS DEL ALCALDE

Plan Municipal de Cambio Climático



Claudio Zurita Ibarra
Alcalde de la Ilustre Municipalidad de Santa María

El cambio climático constituye uno de los principales desafíos para el desarrollo sostenible del país y, en particular, para la gestión municipal, dado su impacto directo en los territorios, los ecosistemas, la infraestructura pública y la calidad de vida de las personas. La evidencia científica y la experiencia reciente demuestran que fenómenos como la escasez hídrica, los eventos climáticos extremos, el aumento de las temperaturas y los riesgos socioambientales asociados requieren una respuesta oportuna, planificada y con enfoque territorial.

En este marco, el presente **Plan Municipal de Cambio Climático** se elabora en conformidad con la **Ley Marco de Cambio Climático (Ley N°21.455)** y los lineamientos establecidos a nivel nacional y regional, reconociendo el rol estratégico de los municipios como actores clave en la implementación de la acción climática a escala local.

Este instrumento busca orientar la gestión comunal mediante acciones concretas de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero y de adaptación al cambio climático, considerando las características ambientales, sociales, económicas y productivas propias de nuestra comuna.

La formulación de este plan responde al compromiso de esta administración con una gestión pública responsable, preventiva y basada en evidencia técnica, fortaleciendo la coordinación intersectorial, la participación de la comunidad y la articulación con los instrumentos de planificación vigentes, tales como el **PLADECO**, los planes reguladores comunales y otros instrumentos de gestión territorial.

Asimismo, este Plan Municipal de Cambio Climático establece una hoja de ruta que permitirá integrar de manera progresiva el enfoque climático en la planificación, la inversión pública y la toma de decisiones municipales, contribuyendo a reducir la vulnerabilidad del territorio y a fortalecer su resiliencia frente a los impactos actuales y futuros del cambio climático.

Como municipio, asumimos el desafío de avanzar hacia una comuna más sostenible, equitativa y preparada, promoviendo un desarrollo que resguarde el bienestar de las personas y la protección del medio ambiente para las generaciones presentes y futuras.

PALABRAS CONCEJO MUNICIPAL

Plan Municipal de Cambio Climático



Marisol Ponce Cisterna
Concejala de Santa María

"Como Concejo Municipal, asumimos con responsabilidad el desafío que impone el cambio climático en nuestro territorio. Este plan refleja nuestro compromiso con una gestión local que proteja a las familias, fortalezca la resiliencia de nuestros barrios y promueva un desarrollo sustentable.

Invitamos a la comunidad a ser parte activa de este esfuerzo conjunto. Solo mediante acciones coordinadas y sostenidas podremos construir una comuna más segura, más eficiente y mejor preparada para el futuro".

RESUMEN EJECUTIVO

El Plan de Acción Comunal de Cambio Climático (PACCC) de la comuna de Santa María constituye un instrumento estratégico de planificación territorial que orienta la acción climática local frente a los impactos actuales y futuros del cambio climático, en coherencia con la Ley Marco de Cambio Climático (Ley N°21.455), la Estrategia Climática de Largo Plazo y la Contribución Determinada a Nivel Nacional de Chile. Este Plan fortalece la gobernanza climática a escala comunal, permitiendo articular la acción local con los compromisos nacionales, e integrando un enfoque territorial, participativo y de largo plazo en la toma de decisiones públicas.

La comuna de Santa María presenta una elevada vulnerabilidad climática asociada a su condición de clima semiárido, a la persistencia de la megasequía y al aumento en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos, tales como olas de calor, incendios forestales, degradación de suelos y amenazas crecientes a la seguridad hídrica. Estas condiciones generan impactos directos sobre la calidad de vida de la población, la actividad agrícola, la biodiversidad y la infraestructura local, afectando con mayor intensidad a los sectores rurales y a los grupos más vulnerables del territorio. El diagnóstico climático y territorial desarrollado en el marco del PACCC identifica como riesgos prioritarios la escasez hídrica estructural, el incremento sostenido de las temperaturas extremas, los incendios forestales y los procesos de erosión y remoción en masa, los cuales se manifiestan de manera diferenciada en el territorio comunal, comprometiendo sistemas productivos, ecosistemas estratégicos y servicios básicos.

Asimismo, el análisis territorial reconoce la existencia de brechas sociales, institucionales y de infraestructura que incrementan la vulnerabilidad frente al cambio climático y limitan la capacidad de respuesta local, lo que refuerza la necesidad de avanzar hacia una planificación climática integrada, con enfoque territorial, social y ecosistémico. En este contexto, el PACCC incorpora un inventario comunal de emisiones de gases de efecto invernadero, identificando a los sectores de energía, transporte, residuos y agricultura como las principales fuentes emisoras a nivel local. A partir de este diagnóstico, el Plan propone medidas de mitigación orientadas a mejorar la eficiencia energética, fomentar el uso de energías renovables, promover la movilidad sustentable y fortalecer la gestión integral de residuos, contribuyendo de manera progresiva a la reducción de la huella de carbono comunal y al cumplimiento de los compromisos climáticos nacionales.

En materia de adaptación, el PACCC prioriza acciones destinadas a fortalecer la gestión integrada del recurso hídrico, proteger y restaurar ecosistemas estratégicos, reducir las vulnerabilidades sociales y aumentar las capacidades locales para enfrentar eventos climáticos extremos. Estas medidas consideran la implementación de soluciones basadas en la naturaleza, el fortalecimiento de la educación ambiental y la promoción de la participación ciudadana, reconociendo el rol fundamental de la comunidad en la construcción de resiliencia territorial y en la sostenibilidad de las acciones propuestas.

El Plan establece, además, un marco claro para su implementación, seguimiento y evaluación, definiendo responsables institucionales, líneas de acción, indicadores de monitoreo y posibles fuentes de financiamiento, con el objetivo de asegurar su ejecución efectiva y su actualización periódica en función de la evolución del contexto

climático, social y territorial. La gobernanza climática local se concibe como un proceso colaborativo que articula al municipio, los servicios públicos, el sector privado y la comunidad, fortaleciendo la coordinación interinstitucional, la toma de decisiones informada y la corresponsabilidad en la acción climática.

En síntesis, el Plan de Acción Comunal de Cambio Climático de Santa María constituye una hoja de ruta fundamental para avanzar hacia un desarrollo local resiliente, sostenible e inclusivo, permitiendo reducir los riesgos climáticos, proteger los sistemas naturales y productivos, fortalecer la seguridad hídrica y mejorar la calidad de vida de la población, posicionando a la comuna como un territorio activo y comprometido frente a los desafíos del cambio climático presentes y futuros.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN
1.1. Contexto 1
1.2. Cambio climático..... 2
1.3. Instrumentos de planificación sobre cambio climático..... 4
1.3.1. Ley Marco de Cambio Climático 5
1.3.2. Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) 6
1.3.3. Estrategia Climática a Largo Plazo (ECLP) 7
1.3.4. Plan de Acción Comunal de Cambio Climático (PACCC) 8
1.4. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 9
1.5. Gases de efecto invernadero (GEI) 11
1.6. Riesgo climático, adaptación y mitigación al cambio climático 15

2. **MARCO METODOLÓGICO**
2.1. Antecedentes 16
2.2. Proceso metodológico 17
2.3. Diagnóstico territorial participativo y caracterización de vulnerabilidad.... 18

3. DIAGNÓSTICO TERRITORIAL Y CLIMÁTICO LOCAL
3.1. Contexto territorial 20
3.2. Análisis climático local 26
3.2.1. Temperatura 26
3.2.2. Precipitación 27
3.3. Biodiversidad 28
3.3.1. Ecosistemas presentes en Santa María 28
3.3.2. Especies nativas, endémicas y en categoría de conservación 30
3.3.3. Cobertura vegetal, corredores biológicos y áreas de conservación ... 31

4. **RIESGOS Y AMENAZAS CLIMÁTICAS**
4.1. Riesgos y amenazas climáticas locales 35
4.1.1. Incendios forestales 35
4.1.2. Remociones en masa y erosión 35
4.1.3. Sequía y escasez hídrica 36
4.2. Vulnerabilidades climáticas por sectores de la comuna 37
4.3. Grupos vulnerables y zonas críticas 39
4.4. Vulnerabilidad social, física y ambiental 41
4.5. Matriz de riesgos priorizados 44

5. INVENTARIO DE GASES DE EFECTO INVERNADERO
5.1. Metodología de cálculo del inventario (IPCC 2006 y guías MMA) 47
5.2. Estimaciones de emisiones GEI por sector 48
5.3. Proyección de emisiones al año 2030 52
5.4. Análisis del impacto ambiental local por sector 53
5.5. Conclusiones del inventario GEI comunal 55

6. RESULTADOS DEL TALLER PARTICIPATIVO LOCAL
6.1. Descripción general del taller 58
6.2. Visión estratégica integrada de Santa María 58
6.3. Diagnóstico de riesgos climáticos y fuentes de emisión 59
6.4. Áreas prioritarias del territorio 60

7. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN
7.1. Introducción: adaptación vs mitigación 63
7.2. Medidas de adaptación prioritarias 63
7.3. Medidas de mitigación prioritarias 76
7.4. Cronograma de implementación por medida 85

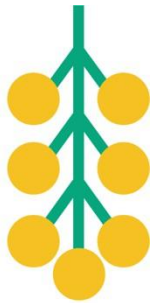
8. PLAN DE IMPLEMENTACIÓN
8.1. Indicadores y seguimiento 89
8.2. Indicadores de seguimiento y monitoreo por medida 89
8.3. Responsabilidades institucionales 97
8.4. Indicadores de seguimiento 99
8.5. Fuentes de financiamiento 100
8.6. Enfoques transversales 101
8.7. Gobernanza, seguimiento y actualización 104
8.8. Monitoreo participativo, educación y comunicación ambiental 105

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES
9.1. Recomendaciones estratégicas 109
9.2. Gobernanza climática local 110
9.3. Financiamiento climático y alianzas estratégicas 110
9.4. Educación, comunicación y cultura climática 111
9.5. Conclusión final 112

10. BIBLIOGRAFÍA

CAPÍTULO 1
INTRODUCCIÓN





1.1. CONTEXTO

El cambio climático es una realidad innegable que avanza con rapidez y cuyas consecuencias ya se sienten con fuerza tanto a nivel global como local. En la comuna de Santa María, ubicada en el Valle del Aconcagua, la frecuencia y severidad de fenómenos climáticos extremos se ha incrementado notoriamente en los últimos años. Olas de calor, incendios forestales, sequías prolongadas y escasez hídrica sostenida son solo algunas de las manifestaciones visibles de una crisis climática que nos interpela directamente.

Este escenario se agrava por la falta de conciencia ambiental generalizada y la desconexión con el entorno natural. En Santa María, persiste un bajo reconocimiento del valor ecológico de sus ecosistemas, como las especies nativas que habitan en las quebradas, cerros y bordes de río, o la relevancia del corredor biológico asociado al estero San Francisco y al río Aconcagua. A esto se suma el uso inapropiado del recurso hídrico, la presión del crecimiento urbano sobre zonas agrícolas o naturales, y la limitada gestión de residuos en algunos sectores rurales, lo cual debilita aún más la resiliencia del territorio frente al cambio climático.

Sin embargo, la comuna también se transforma. En sus habitantes crece la conciencia y el interés por avanzar hacia un desarrollo más armónico y sustentable, donde se priorice la protección de los recursos naturales, el uso eficiente del agua, la conservación de la biodiversidad y la adaptación al nuevo escenario climático. Santa María se visualiza como una comuna comprometida con su entorno, con el bienestar de sus habitantes y con las futuras generaciones.

En este contexto, el **Plan de Acción Comunal de Cambio Climático (PACCC)** surge como una herramienta clave para caracterizar la vulnerabilidad climática del territorio, identificar las principales amenazas, y definir un conjunto de estrategias y medidas concretas de mitigación y adaptación. Su propósito es guiar a la gestión local y a la comunidad en la construcción de un modelo de desarrollo más sustentable, resiliente e inclusivo, que permita enfrentar con decisión los desafíos que impone la crisis climática.

1.2. CAMBIO CLIMÁTICO

El **Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC)** define el cambio climático como "una variación del estado del clima que puede identificarse mediante cambios en la media o en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante períodos prolongados, típicamente décadas o más" (IPCC, 2023). Aunque estas alteraciones pueden tener causas naturales, existe consenso científico en que el calentamiento global actual está impulsado principalmente por las actividades humanas, especialmente a través de la **emisión masiva de gases de efecto invernadero (GEI)** desde la Revolución Industrial.

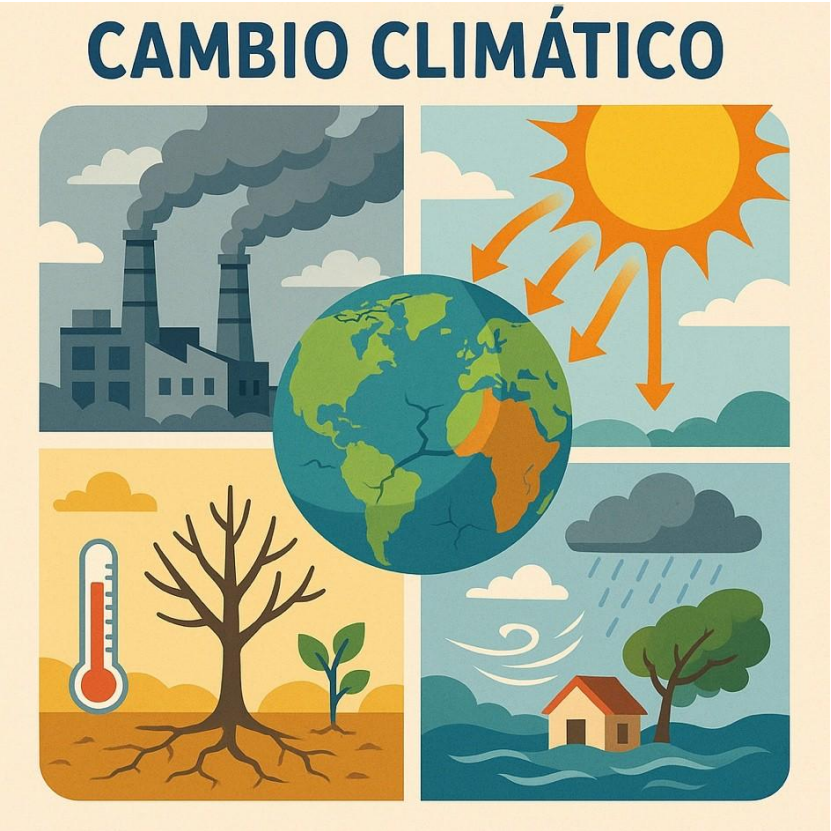


Ilustración 1: Factores del Cambio Climático

Durante los últimos 150 años, la acumulación de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxidos de nitrógeno (NOx) y otros GEI en la atmósfera ha intensificado el efecto invernadero natural, provocando un **aumento sin precedentes de la temperatura global**, que ya supera los 1,1°C por sobre los niveles preindustriales (IPCC, 2023). Este fenómeno ha derivado en una mayor frecuencia e intensidad de **eventos climáticos extremos** como

sequías prolongadas, olas de calor, tormentas, incendios forestales y derretimiento acelerado de glaciares y hielos polares.

En el caso de Chile, y especialmente en zonas de clima mediterráneo como la región de Valparaíso, estos efectos se han manifestado de forma crítica. La disminución sostenida de las precipitaciones, junto con un aumento de las temperaturas medias y extremas, ha exacerbado la **crisis hídrica** que afecta tanto a la agricultura como al abastecimiento humano, afectando de forma desproporcionada a comunidades rurales y sectores vulnerables (CEPAL & MMA, 2022). Además, la pérdida de biodiversidad, el deterioro de ecosistemas nativos, y el avance de la desertificación son impactos cada vez más visibles.

Los efectos del cambio climático no solo comprometen los equilibrios ecológicos, sino que afectan **la salud, seguridad alimentaria, infraestructura crítica, cultura, economía local y servicios ecosistémicos**, poniendo en riesgo el bienestar presente y futuro de las poblaciones humanas (Gallardo et al., 2021). Frente a esto, el **Informe de Síntesis del Sexto Ciclo del IPCC (2023)** ha reiterado que la influencia humana en el sistema climático es "inequívoca", y ha hecho un llamado urgente a tomar medidas inmediatas, integradas y coordinadas de **mitigación y adaptación** para evitar impactos aún más catastróficos.

En este contexto, diversos instrumentos y marcos normativos han emergido tanto a nivel global como nacional. Chile, a través de su **Ley Marco de Cambio Climático (Ley 21.455 de 2022)**, ha definido metas ambiciosas como alcanzar la **carbononeutralidad al año 2050**, implementar planes de adaptación por sector y territorio, y fortalecer la gobernanza climática a nivel local. Esta ley otorga protagonismo a los municipios y comunidades en la **gestión descentralizada del riesgo climático**, permitiendo el desarrollo de **Planes de Acción Comunal de Cambio Climático (PACCC)** como herramientas para reducir la vulnerabilidad, fortalecer capacidades locales y avanzar hacia un desarrollo sostenible y resiliente.

Este documento se inscribe en esa lógica, aportando al fortalecimiento del conocimiento local y a la generación de acciones concretas frente al cambio climático desde y para la comuna de Santa María.

1.3. INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN SOBRE CAMBIO

Chile ha asumido compromisos relevantes a nivel nacional e internacional para enfrentar el cambio climático, consolidando un marco normativo y estratégico que guía sus políticas públicas hacia un desarrollo resiliente y bajo en emisiones. En los últimos años, el país ha fortalecido significativamente sus instrumentos de planificación climática, integrando la acción climática en diversos niveles de la gestión territorial, sectorial y local.

Entre los principales instrumentos se destacan la **Ley Marco de Cambio Climático (Ley N° 21.455)**, promulgada en junio de 2022, que establece principios, metas y mecanismos para la gestión del cambio climático en el país. Esta ley incorpora un enfoque basado en la ciencia, la equidad, la participación ciudadana y el resguardo de los ecosistemas, y contempla la elaboración de planes de acción a distintos niveles, incluyendo el Plan de Acción Nacional de Cambio Climático (PANCC), los Planes Estratégicos Sectoriales, los Planes Regionales y los Planes de Acción Comunal de Cambio Climático (PACCC).

Adicionalmente, Chile ha definido su compromiso climático a través de su **Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC)**, que establece metas concretas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), adaptación y fortalecimiento de capacidades. Estos compromisos se alinean con los objetivos del Acuerdo de París y se traducen en acciones programadas a mediano y largo plazo.

A nivel local, instrumentos como los **PACCC** cobran creciente relevancia, ya que permiten territorializar las estrategias de mitigación y adaptación, considerando las realidades específicas de cada comuna. Estos planes se elaboran de manera participativa, incorporando diagnósticos técnicos, inventarios de GEI y análisis de vulnerabilidad, y son clave para la implementación efectiva de políticas climáticas desde los territorios.

En suma, Chile ha consolidado una arquitectura institucional y normativa robusta para la planificación climática, avanzando en una gobernanza multinivel que promueve la acción climática justa, inclusiva y basada en evidencia, permitiendo enfrentar de manera coordinada los desafíos actuales y futuros del cambio climático.

1.3.1. LEY MARCO DE CAMBIO CLIMÁTICO (LEY N°21.455, 2022):

Es la piedra angular de la política climática chilena. Publicada en junio de 2022, esta ley crea el marco jurídico para que el país enfrente el cambio climático en mitigación y adaptación con una visión de largo plazo [8] . Su objetivo declarado es "hacer frente a los desafíos del cambio climático, transitar hacia un desarrollo bajo en emisiones... hasta alcanzar y mantener la neutralidad de emisiones de GEI al 2050, adaptarse al cambio climático reduciendo la vulnerabilidad y aumentando la resiliencia, y dar cumplimiento a los compromisos internacionales asumidos por Chile en la materia". En concreto, la ley establece una meta país de carbono neutralidad al 2050, junto con una meta de adaptación consistente en reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia frente a los efectos adversos del clima [10] . Para lograrlo, la LMCC consagra una serie de instrumentos e instituciones obligatorios: formaliza la institucionalidad climática existente (por ejemplo, el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad y Cambio Climático, el Comité Científico, etc.) y asigna responsabilidades a 13 ministerios y a todas las regiones y comunas del país en materia de acción climática [11] . La Ley 21.455 incorpora además principios clave como no regresión, equidad y justicia climática, enfoque ecosistémico, territorialidad, transparencia y participación ciudadana en la gestión climática , lo que asegura que las políticas tengan un sustento ético y técnico. En síntesis, esta Ley Marco impulsa una nueva etapa del derecho ambiental en Chile al hacer jurídicamente vinculantes las metas climáticas (2050) y al establecer la gobernanza climática multinivel obligatoria, integrando los niveles nacional, regional y local en la planificación climática.

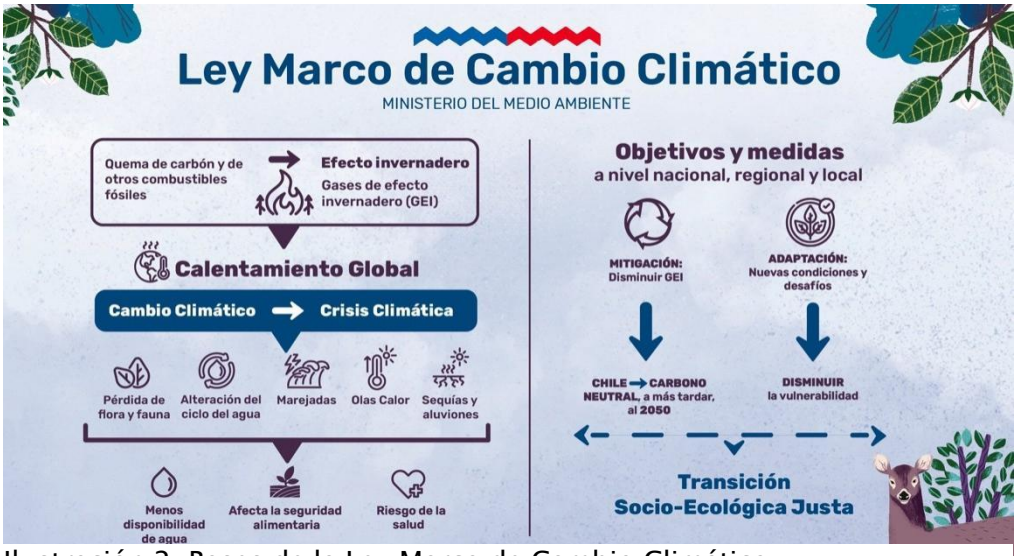


Ilustración 2: Bases de la Ley Marco de Cambio Climático

1.3.2. CONTRIBUCIÓN DETERMINADA A NIVEL NACIONAL (NDC) DE CHILE:

La Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés) representa el principal compromiso climático que Chile presenta periódicamente ante la comunidad internacional en el contexto del Acuerdo de París. Este instrumento orientador refleja las metas y acciones que el país se compromete a implementar para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y adaptarse a los impactos del cambio climático. La NDC actualmente vigente, actualizada en 2020, consolida una serie de compromisos ambiciosos y transversales que guían la política climática nacional hasta el año 2030.

En materia de mitigación, Chile ha establecido un presupuesto máximo de emisiones netas de **95 millones de toneladas de CO_2 equivalente ($MtCO_2eq$)** acumuladas al año 2030. Esta meta incluye un **pico (peaking) de emisiones para el año 2025**, lo que significa que las emisiones anuales del país no deben aumentar más allá de ese punto. Además, se contempla una reducción del **25% en las emisiones de carbono negro** para el año 2030, en comparación con los niveles de 2016, así como el fortalecimiento de los **sumideros de carbono** a través de la conservación y manejo sustentable de los ecosistemas forestales.

En adaptación, la NDC chilena adopta un enfoque integral que abarca **ocho áreas prioritarias**: recursos hídricos, biodiversidad, zonas costeras, ciudades, salud, infraestructura, energía y sistemas agroalimentarios. Un avance relevante en esta versión de la NDC es la incorporación de un **"Pilar Social"**, el cual promueve la **justicia climática**, la **equidad de género** y la inclusión de grupos vulnerables, reconociendo que la acción climática debe ser también una oportunidad para reducir desigualdades estructurales.

La **Ley Marco de Cambio Climático (Ley N.º 21.455)** refuerza legalmente los compromisos establecidos en la NDC, elevando su cumplimiento a rango obligatorio. Esta ley vincula las metas de mitigación y adaptación con instrumentos de planificación estratégica a nivel nacional, regional y comunal. En este marco, se establece que la **carbono-neutralidad al año 2050** es una obligación del Estado chileno, lo que exige coherencia y alineación en todas las escalas de gobierno.

Por ello, los planes subnacionales —como el **Plan de Acción Comunal de Cambio Climático (PACCC)** de la comuna de Santa María— deben vincularse directamente con los objetivos de la NDC nacional. Esto implica definir acciones locales que contribuyan a la **reducción de emisiones** y al **aumento de la resiliencia climática**, asegurando una **coherencia vertical** en la gobernanza climática. La próxima actualización de la NDC, prevista para 2025, exigirá un aumento en el nivel de ambición, abriendo nuevas oportunidades para que los gobiernos locales fortalezcan su rol protagónico en la respuesta al cambio climático.

1.3.3. ESTRATEGIA CLIMÁTICA DE LARGO PLAZO (ECLP)

La **Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP)** constituye el plan estratégico de Chile para alcanzar la **carbono-neutralidad y la resiliencia climática al año 2050**. Este instrumento responde tanto a lo establecido en la **Ley Marco de Cambio Climático** como a las orientaciones del **Acuerdo de París**, que invita a los países a formular estrategias de desarrollo con bajas emisiones hacia mediados de siglo. Chile presentó oficialmente su ECLP en 2021 y esta fue adoptada como política pública mediante decreto supremo en 2022, consolidándose como una hoja de ruta nacional para la acción climática a largo plazo.

La ECLP define una **visión país al 2050**, estableciendo objetivos estratégicos y metas intermedias en áreas clave como la **transición energética**, la transformación de la **matriz productiva**, la **protección y restauración de ecosistemas**, y la **adaptación sectorial y territorial**. Esta estrategia está alineada con el **presupuesto global de carbono compatible con la meta de limitar el calentamiento global a 1,5°C**, asegurando que Chile contribuya de manera justa y ambiciosa a los esfuerzos internacionales.

Uno de los principales aportes de la ECLP es que **entrega directrices generales obligatorias** para todos los instrumentos de planificación climática del país. Es decir, la **NDC**, los **planes sectoriales**, los **planes regionales** y los **Planes de Acción Comunal de Cambio Climático (PACCC)** deben mantener **coherencia con los lineamientos de esta estrategia de largo plazo**. De esta forma, se garantiza una gobernanza climática articulada, multinivel y de largo aliento.

Además, la ECLP establece elementos concretos como el **presupuesto de carbono de Chile al 2030**, las **trayectorias de reducción de emisiones por**

sector (transporte, energía, residuos, industria, entre otros), así como las **prioridades de adaptación** hacia 2050, que incluyen la **gestión hídrica sostenible**, el **fortalecimiento de ciudades resilientes**, la **protección costera**, y la **planificación basada en ecosistemas**.

Cabe destacar que esta estrategia fue elaborada de forma **participativa**, incorporando una perspectiva de **transición justa**, es decir, considerando los impactos sociales, laborales y territoriales de las medidas de mitigación y adaptación. Este enfoque busca que nadie quede atrás en el proceso de transformación hacia un modelo de desarrollo bajo en emisiones y resiliente.

Finalmente, la ECLP permite **dar continuidad a las políticas climáticas más allá de los ciclos de gobierno**, entregando a regiones y municipios un **marco claro, estable y orientador** para diseñar sus propias estrategias locales. En este contexto, resulta fundamental que comunas como Santa María utilicen la ECLP como referencia estructural para guiar sus acciones frente al cambio climático, fortaleciendo así la coherencia y efectividad del esfuerzo climático nacional.

1.3.4. PLAN DE ACCIÓN COMUNAL DE CAMBIO CLIMÁTICO (PACCC)

El **Plan de Acción Comunal de Cambio Climático (PACCC)** es un instrumento clave de planificación local en Chile, que permite a las comunas enfrentar de forma concreta y estratégica los desafíos del cambio climático desde su realidad territorial. Desarrollado bajo el marco de la **Ley Marco de Cambio Climático (Ley N° 21.455)**, el PACCC responde a la necesidad de integrar la acción climática en el nivel más cercano a las personas: los gobiernos locales.

Este plan busca identificar los principales riesgos y vulnerabilidades climáticas de cada comuna, así como las oportunidades de mitigación, adaptación y fortalecimiento de capacidades. A partir de una **línea base técnica**, un **inventario comunal de gases de efecto invernadero (GEI)** y un proceso **participativo con actores locales**, el PACCC establece una hoja de ruta clara para reducir emisiones, aumentar la resiliencia de los territorios y proteger a la población frente a eventos climáticos extremos.

El PACCC está alineado con los compromisos internacionales del país —como la **Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC)** y la **Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP)**—, asegurando coherencia vertical entre los distintos niveles de planificación climática. Además, contribuye

directamente al cumplimiento de la **Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)**, especialmente el ODS 13: Acción por el Clima.

Uno de los aspectos más relevantes del PACCC es que reconoce el valor del conocimiento local y la participación ciudadana en la formulación de medidas efectivas. Las comunas, al conocer su territorio, su infraestructura, sus servicios y su población, están mejor posicionadas para diseñar soluciones adaptadas a sus necesidades. En este sentido, el PACCC no solo es un instrumento técnico, sino también **un proceso político y social de construcción de resiliencia climática local**.

Finalmente, el PACCC permite integrar el cambio climático en la planificación territorial existente —como los planes reguladores, los planes de desarrollo comunal (PLADECO) o los presupuestos municipales—, promoviendo una **transversalización real de la acción climática**. A través de este instrumento, comunas como **Santa María** pueden consolidar una visión de desarrollo sostenible, inclusivo y preparado para los desafíos del clima actual y futuro.

1.4. AGENDA 2030 Y OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)

La **Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible**, adoptada por la Asamblea General de las Naciones Unidas en 2015, establece un marco global compuesto por **17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)** y 169 metas asociadas, con el propósito de erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar el bienestar de las generaciones presentes y futuras. Esta agenda constituye un compromiso compartido por todos los países miembros, incluidos los de América Latina y el Caribe, entre ellos **Chile**, que ha integrado activamente estos objetivos en sus políticas públicas.

En este contexto, el **ODS 13: Acción por el Clima** destaca por su llamado urgente a tomar medidas concretas frente al cambio climático y sus efectos. Sus metas, como la **13.1**, instan a fortalecer la **resiliencia y la capacidad de adaptación** a los riesgos relacionados con el clima en todos los países. Chile ha asumido este desafío a través de diversas estrategias y planes, entre ellos el **Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022**, considerado precursor de la actual **Ley Marco de Cambio Climático**.

Dicho Plan Nacional estableció metas claras al 2030, incluyendo el diseño de una **estrategia climática a 2050** y la elaboración de **planes sectoriales de**

adaptación. A su vez, puso especial énfasis en el fortalecimiento de la acción climática a nivel **local**, promoviendo la generación de capacidades técnicas e institucionales en municipios y gobiernos regionales, considerados actores clave para una implementación efectiva y descentralizada de la política climática.

La **alineación entre la Agenda 2030 y las políticas climáticas chilenas** se evidencia no solo en la articulación de metas y estrategias nacionales, sino también en el compromiso de trasladar estos esfuerzos al ámbito subnacional. Las **comunas** —como es el caso de **Santa María**— tienen un rol central en la implementación de medidas locales que contribuyan al cumplimiento del ODS 13 y de otros objetivos asociados, como el ODS 6 (agua limpia y saneamiento), ODS 11 (ciudades sostenibles), ODS 15 (vida de ecosistemas terrestres), entre otros.

Por tanto, la planificación climática local debe concebirse como un aporte concreto a la Agenda 2030, promoviendo un desarrollo territorial más justo, resiliente y sostenible. Los **Planes de Acción Comunal de Cambio Climático (PACCC)** constituyen el principal instrumento para canalizar esta contribución desde lo local hacia lo global, fortaleciendo la coherencia entre las acciones territoriales y los compromisos internacionales de Chile.



Ilustración 3: Objetivos de Desarrollo Sostenible

1.5. GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI)

El cambio climático es causado, principalmente, por el aumento de la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, como consecuencia de diversas actividades humanas. Estos gases tienen la capacidad de retener el calor del sol, provocando un fenómeno natural conocido como efecto invernadero. Sin embargo, cuando su presencia se incrementa por sobre los niveles normales, este fenómeno se intensifica y provoca el calentamiento global. Entre los principales GEI se encuentran el dióxido de carbono (CO_2), que proviene principalmente de la quema de combustibles fósiles; el metano (CH_4), generado por actividades agrícolas, ganaderas y desechos orgánicos; y el óxido nitroso (N_2O), asociado al uso de fertilizantes. También participa el vapor de agua (H_2O), aunque en menor medida por su carácter natural y autorregulado.

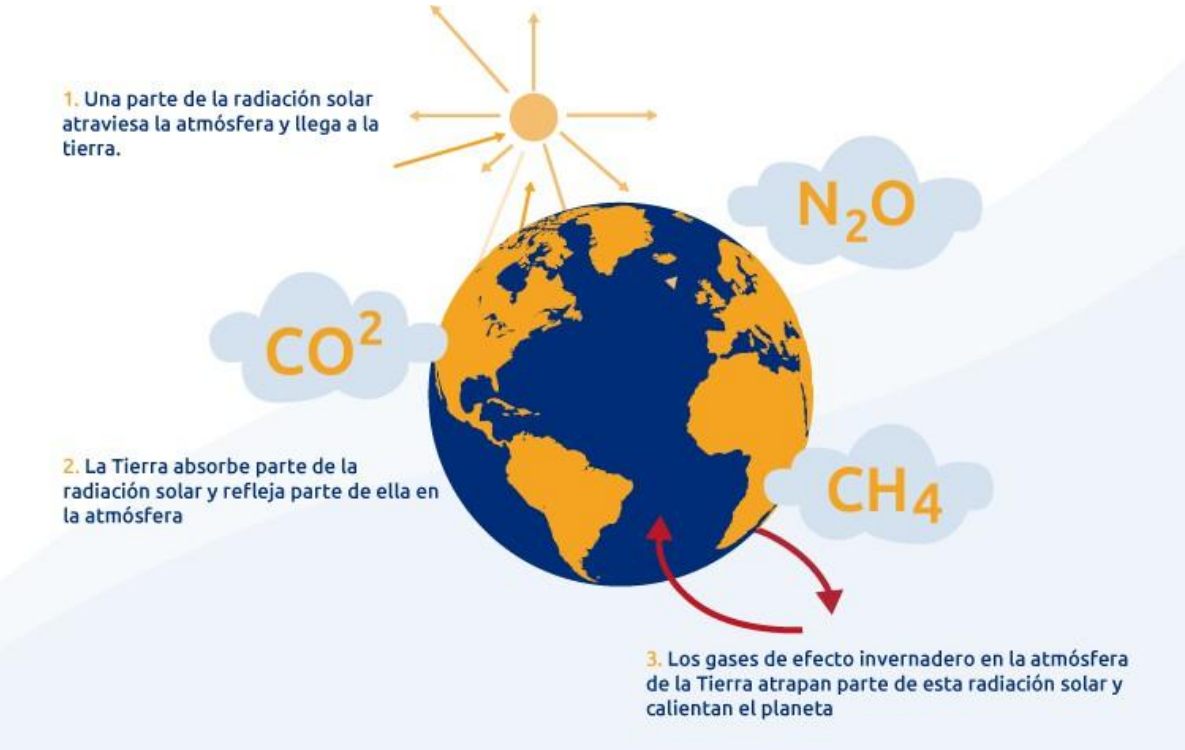


Ilustración 4: Gases de Efecto Invernadero

Estos gases han aumentado significativamente desde la revolución industrial, generando un alza sostenida en las temperaturas globales. Esto se traduce en impactos concretos como sequías más prolongadas, olas de calor, incendios forestales, retroceso de glaciares, aumento del nivel del mar y mayor frecuencia de eventos climáticos extremos, todos con consecuencias directas para las personas y los ecosistemas.

Afortunadamente, la naturaleza también ofrece mecanismos de regulación del clima. Existen ecosistemas conocidos como sumideros de carbono —bosques, suelos, humedales y océanos— que tienen la capacidad de capturar y almacenar parte de estos gases, ayudando a equilibrar el sistema climático. Por esta razón, conservar y restaurar estos ecosistemas es fundamental para combatir el cambio climático.

Chile ha respondido a este desafío desarrollando una política climática integral basada en tres instrumentos clave: la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC), la Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP 2050) y la Ley Marco de Cambio Climático (N° 21.455). Esta última, promulgada en 2022, establece un marco legal que otorga nuevas atribuciones al Estado, incluyendo a los municipios, para incorporar la variable climática en la planificación territorial y sectorial. Entre sus disposiciones se encuentran la creación de Planes Sectoriales de Mitigación y Adaptación, y de Planes de Acción Regional y Comunal de Cambio Climático (PARCC y PACCC), que permiten llevar los compromisos nacionales al nivel local.

Por otro lado, la adaptación se refiere a las acciones que permiten prepararse frente a los efectos del cambio climático, ya sean actuales o futuros. Esto incluye, por ejemplo, construir infraestructura más resiliente a lluvias intensas, mejorar la gestión del agua para enfrentar sequías, implementar sistemas de alerta temprana o restaurar ecosistemas naturales como barreras de protección. En la NDC 2020, Chile establece su compromiso de contribuir a la meta global de adaptación mediante la reducción de la vulnerabilidad, el fortalecimiento de la resiliencia y el aumento de la capacidad de adaptación del país. Todo esto con el objetivo de proteger a las personas, sus medios de vida y los ecosistemas.

En síntesis, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y prepararse para los efectos del cambio climático son los dos grandes pilares que guían la política climática del país. Estas acciones deben ejecutarse desde lo global hasta lo local, y los municipios cumplen un rol fundamental en su implementación territorial.

1.6. RIESGO CLIMÁTICO, ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático es una realidad que afecta a todos los territorios, alterando los patrones climáticos tradicionales y generando impactos cada vez más visibles en la vida de las personas y en el funcionamiento de los

ecosistemas. Para enfrentar este desafío de manera efectiva, es fundamental comprender el concepto de **riesgo climático**, que permite identificar las posibles amenazas y evaluar cómo estas pueden afectar a las comunidades, sus medios de vida, infraestructura y recursos naturales.

El riesgo climático se define como la probabilidad de que ocurran efectos negativos derivados de fenómenos climáticos extremos o de cambios graduales en el clima, como aumentos de temperatura o variaciones en las precipitaciones. Este riesgo se determina por la interacción de tres componentes clave: la **amenaza**, la **exposición** y la **vulnerabilidad**.

La **amenaza** hace referencia a eventos climáticos o naturales que pueden causar daños, tales como sequías, inundaciones, olas de calor o tormentas intensas. Estos eventos pueden variar en frecuencia, intensidad y duración debido al cambio climático. Por ejemplo, un aumento en la temperatura promedio puede incrementar la ocurrencia y severidad de olas de calor, afectando la salud de la población y la productividad agrícola.

La **exposición** se refiere a la presencia de personas, bienes materiales, infraestructuras y ecosistemas que están situados en zonas donde pueden ser afectados por estas amenazas. Una comunidad ubicada en una zona propensa a inundaciones tiene una alta exposición, lo que implica que ante una tormenta severa existe un riesgo significativo de daños.

Finalmente, la **vulnerabilidad** es la susceptibilidad o debilidad que tiene un sistema o comunidad para resistir o recuperarse frente a las amenazas climáticas. Esta vulnerabilidad está determinada por factores como la capacidad económica, social, institucional y técnica para enfrentar y adaptarse a los impactos. Por ejemplo, una comunidad con bajos recursos económicos y poca infraestructura sanitaria será más vulnerable a enfermedades derivadas de eventos extremos como inundaciones o sequías.

Ante este panorama, la respuesta al cambio climático debe basarse en dos grandes estrategias complementarias: la **mitigación** y la **adaptación**.

La **mitigación** comprende todas las acciones que buscan reducir la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), principales causantes del calentamiento global, o aumentar la captura de estos gases mediante sumideros naturales. En el ámbito local, esto puede traducirse en iniciativas como la promoción de energías renovables (solar, eólica), la mejora de la

eficiencia energética en edificios públicos y viviendas, el impulso a la movilidad sustentable, el manejo adecuado de residuos y la protección y restauración de áreas verdes urbanas. Estas acciones contribuyen a disminuir la huella de carbono de la comuna y a cumplir con los compromisos nacionales e internacionales asumidos por Chile.

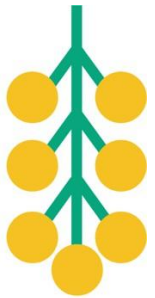
Por su parte, la **adaptación** implica el conjunto de medidas destinadas a ajustarse a los cambios climáticos actuales o previstos, para minimizar los impactos negativos y aprovechar posibles oportunidades. Esto incluye acciones como fortalecer la infraestructura local para resistir eventos extremos, mejorar la gestión del agua para asegurar su disponibilidad ante sequías prolongadas, desarrollar programas educativos para aumentar la conciencia ambiental, y promover soluciones basadas en la naturaleza, como la restauración de humedales para controlar inundaciones. La adaptación busca hacer a la comunidad más resiliente, capaz de enfrentar y recuperarse de los efectos adversos del cambio climático.

En el contexto chileno, el **Plan de Acción Nacional de Cambio Climático (PANCC)** establece un marco estratégico para que todas las regiones y comunas avancen en estas dos líneas de acción, fortaleciendo la coordinación entre instituciones y promoviendo la participación ciudadana. De esta forma, se busca que las acciones de mitigación y adaptación sean integradas y sostenibles en el tiempo, contribuyendo a un desarrollo local más justo y sostenible.

En definitiva, comprender el riesgo climático y actuar sobre la mitigación y adaptación es fundamental para que la comuna pueda proteger a sus habitantes y ecosistemas, mejorar la calidad de vida y avanzar hacia un futuro resiliente y sustentable.

CAPÍTULO 2
MARCO METODOLÓGICO





2.1. ANTECEDENTES

Según lo establecido en la Ley Marco de Cambio Climático, las municipalidades deben elaborar Planes de Acción Comunal de Cambio Climático (PACCC) que sean consistentes con las directrices generales definidas en la Estrategia Climática de Largo Plazo y en los Planes de Acción Regional de Cambio Climático. Estos instrumentos entregan orientaciones estratégicas a nivel nacional y regional, por lo que el Plan comunal debe ajustarse a estos lineamientos, incorporando además una metodología y planificación estratégica que se adapte a la realidad local.

En cuanto al Plan Regional de Cambio Climático de la Región de Valparaíso, este aún se encuentra en proceso de elaboración, por lo que no fue posible integrarlo directamente en el desarrollo de este Plan. Sin embargo, la Municipalidad de Santa María ha participado en las etapas preliminares de diagnóstico y consulta ciudadana de dicho Plan Regional, lo que ha permitido anticipar ciertos lineamientos generales para alinear el Plan Comunal con las futuras directrices regionales. Hasta la fecha, el Plan Regional no cuenta con acciones definidas para enfrentar los impactos climáticos a nivel urbano-regional, lo que refuerza la necesidad de contar con un Plan comunal sólido y adaptado a las particularidades del territorio.

Durante la revisión bibliográfica para la elaboración del Plan, se analizaron diferentes Planes Locales de Cambio Climático desarrollados en otras comunas de Chile, muchos de ellos elaborados en el marco del proyecto "Fortalecimiento y Expansión de la Red Chilena de Municipios Ante el Cambio Climático", financiado por la Unión Europea y ejecutado por Adapt Chile. Estos documentos siguen una estructura y metodología similar, adaptándose a las características propias de cada comuna.

Consultado el Ministerio del Medio Ambiente (MMA) respecto a metodologías oficiales para la elaboración de PACCC, se informó que no existe una metodología única obligatoria, sino orientaciones generales establecidas en la Ley Marco de Cambio Climático. Durante el segundo semestre de 2023, el MMA publicó una **Guía Metodológica para la Elaboración de Planes de Acción Comunal de Cambio Climático**, que ha sido utilizada como referencia fundamental para guiar la planificación y elaboración de este Plan.

2.2. PROCESO METODOLÓGICO

El desarrollo del **Plan de Acción Comunal de Cambio Climático (PACCC)** de Santa María se estructuró en una serie de fases metodológicas que permitieron abordar de manera integral la vulnerabilidad climática del territorio. Este proceso fue diseñado bajo un enfoque participativo, interdisciplinario y coherente con los marcos normativos vigentes, asegurando la inclusión de dimensiones ambientales, sociales y territoriales.

La primera etapa consistió en un **levantamiento normativo y documental**, que incluyó la revisión de leyes, políticas públicas y planes relacionados con cambio climático, tanto a nivel nacional como regional y local. Este análisis permitió establecer una base conceptual sólida, alineada con instrumentos como la Ley Marco de Cambio Climático, la Estrategia Climática de Largo Plazo, la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), entre otros.

En una segunda etapa, se realizó una **caracterización ambiental, territorial y social** de la comuna. Este diagnóstico incluyó la identificación de riesgos climáticos relevantes —como sequías, olas de calor o crecidas—, así como la evaluación de la vulnerabilidad de distintos sistemas y grupos: población, ecosistemas, servicios básicos, infraestructura crítica y sectores productivos. Esta caracterización fue fundamental para comprender los impactos diferenciados del cambio climático en Santa María.

Posteriormente, se llevó a cabo un **taller participativo** con actores clave de la comuna, entre ellos funcionarios municipales, representantes de organizaciones sociales y ambientales, y ciudadanía en general. Este espacio de diálogo permitió recoger percepciones locales, conocimientos tradicionales y propuestas concretas, lo que enriqueció el análisis técnico y ayudó a construir una visión compartida sobre los desafíos climáticos.

Con base en la información levantada y los insumos del taller, el equipo técnico elaboró y sistematizó un **borrador del PACCC**, que incluye los **objetivos estratégicos, líneas de acción y proyectos prioritarios** para abordar la crisis climática desde una escala comunal. Todo el proceso metodológico estuvo orientado a garantizar la **validez técnica**, la **pertinencia local** y la **legitimidad social** del plan.

2.3. DIAGNÓSTICO TERRITORIAL PARTICIPATIVO Y CARACTERIZACIÓN DE VULNERABILIDAD

La recopilación de antecedentes para este Plan de Acción Comunal de Cambio Climático tuvo como propósito principal establecer un diagnóstico interno sólido, que permitiera comprender de manera integral la realidad climática, social, física y ambiental de la comuna de Santa María. Esta etapa fue clave para levantar una base de información que sirviera como sustento técnico y estratégico para la toma de decisiones.

Para ello, se realizó un levantamiento detallado de datos físicos, demográficos, sociales y ambientales del territorio, permitiendo obtener una mirada global de los elementos que caracterizan a la comuna. La información fue recopilada a partir de fuentes oficiales, tales como el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), la Infraestructura de Datos Geoespaciales (IDE Chile), el Plan de Desarrollo Comunal (PLADECO), el Plan Nacional de Acción de Cambio Climático, la Estrategia Climática de Largo Plazo, y el Informe Bienal de Actualización presentado por Chile ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

Para identificar y jerarquizar los principales riesgos y amenazas climáticas que afectan a Santa María, se utilizó la metodología propuesta por el **Atlas de Riesgo Climático de Chile (ARClim)**, desarrollado por el Ministerio del Medio Ambiente, en conjunto con el Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2) y el Centro de Cambio Global de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Esta herramienta permitió evaluar el nivel de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa del territorio, generando así una caracterización objetiva del nivel de vulnerabilidad de la comuna frente a distintos escenarios climáticos.

Una vez establecidos los principales riesgos climáticos, se avanzó hacia una **fase diagnóstica participativa**, orientada a validar y complementar la información técnica con la percepción local de actores relevantes. Esta etapa buscó recoger la experiencia territorial, los saberes comunitarios y las preocupaciones de la población, a fin de enriquecer el diagnóstico con una mirada más situada y colaborativa.

Para ello, se llevó a cabo un **taller participativo** que contó con la presencia de funcionarios y funcionarias municipales, organizaciones ambientales locales y diversos actores sociales de la comuna. Esta instancia fue diseñada

con una planificación previa que permitió definir tiempos, objetivos y dinámicas de trabajo, asegurando así una participación efectiva y ordenada.

El taller se desarrolló en una jornada dividida en dos momentos principales. En primer lugar, se realizó una **presentación introductoria** que contextualizó el proceso de elaboración del Plan y entregó información clave sobre el cambio climático y su impacto en la comuna. A continuación, se dio paso al trabajo participativo, que se organizó en cinco estaciones temáticas con una duración de 10 minutos cada una. Los participantes se dividieron en grupos rotativos, y cada grupo trabajó con un **mapa comunal en formato A1**, acompañado de materiales como lápices, plumones y post-it, facilitando la expresión libre y visual de sus ideas.

Cada estación de trabajo tuvo objetivos específicos:

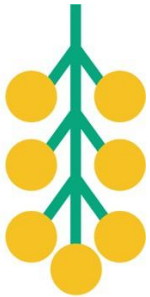
- Identificar y localizar las principales amenazas climáticas que afectan a la comuna.
- Reconocer los elementos expuestos y la sensibilidad territorial frente a dichos riesgos.
- Sensibilizar a los participantes sobre las posibles consecuencias del cambio climático a nivel local.

El desarrollo del taller fue respaldado por un cronograma estructurado y elementos de verificación como registros fotográficos y listas de asistencia, lo que garantizó trazabilidad y transparencia del proceso.

Finalmente, con toda la información recopilada tanto técnica como participativa se dio inicio al **análisis de los datos**, permitiendo establecer una caracterización completa de la vulnerabilidad climática de Santa María. Como resultado, se generó un **mapa cartográfico de vulnerabilidad comunal**, el cual integra índices sociales y ambientales bajo criterios establecidos por la metodología ARClim. Este mapa se presenta y explica en detalle en el capítulo de **Diagnóstico Participativo** de este mismo Plan.

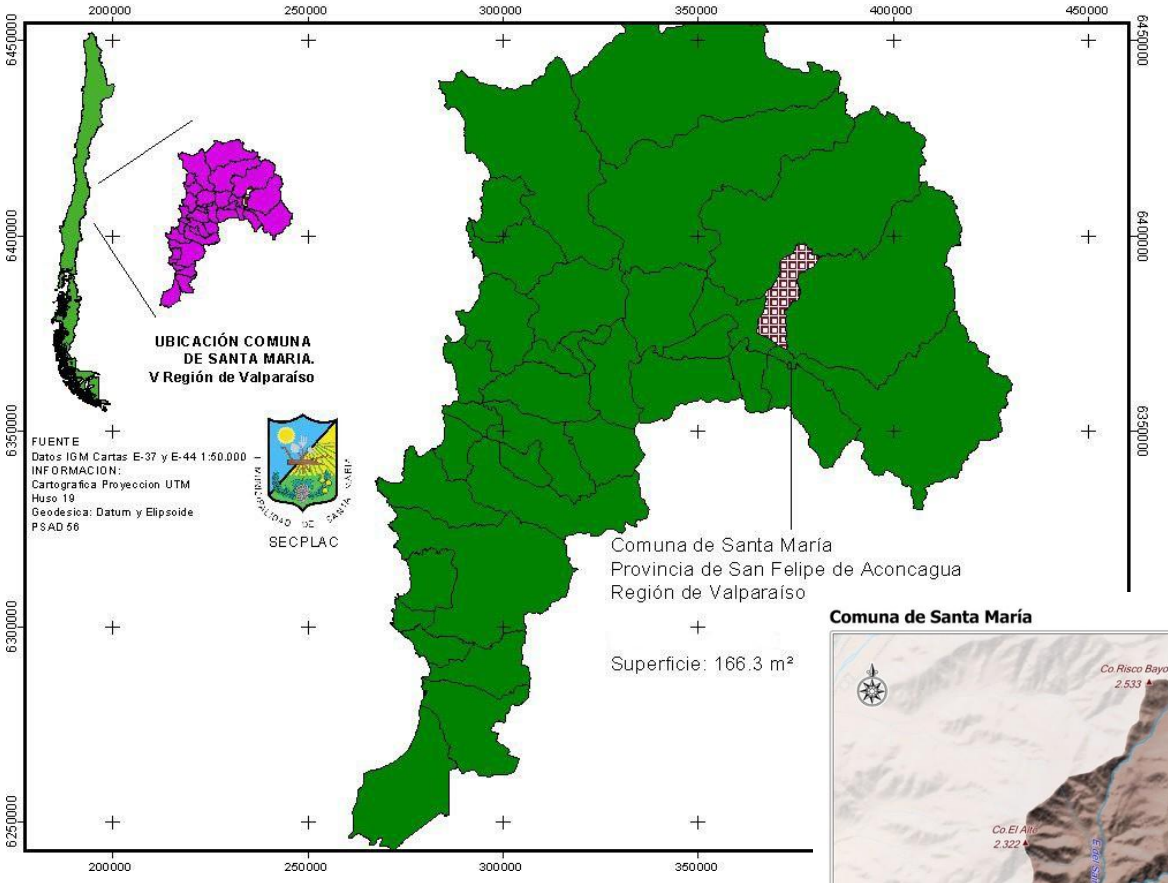
CAPÍTULO 3
DIAGNÓSTICO TERRITORIAL Y CLIMÁTICO LOCAL





3.1. CONTEXTO TERRITORIAL

La comuna de Santa María se ubica en la Provincia de San Felipe de Aconcagua, Región de Valparaíso, formando parte del valle del Aconcagua en la Zona Central de Chile. La Comuna tiene una superficie aproximada de 166 km2 y una población en torno a 16.962 mil habitantes (CENSO 2024), combina zonas urbanas rurales en un entorno predominantemente agrícola



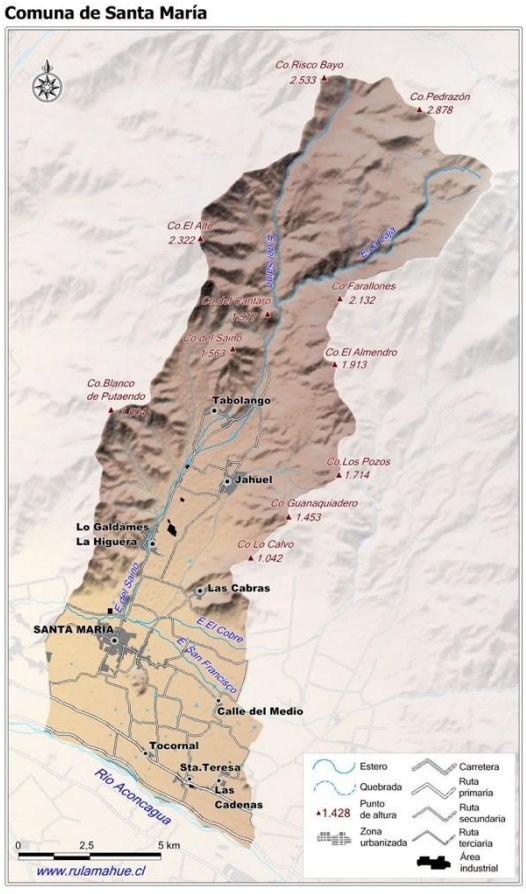


Ilustración 5: Cartografía de ubicación Geográfica de la Comuna de Santa María

Con una altura promedio a unos 714 msnm en promedio, el relieve comunal combina partes del valle transicional semiárido y estribaciones precordilleranas andinas. Hacia el nororiente del territorio predominan laderas de pendiente moderada a fuerte, que forman parte de la precordillera de Los Andes, mientras que al surponiente se extiende la zona más plana del valle . Esta configuración genera diferencias locales en altitud y pendiente que influencian el clima y los usos de suelo.

En cuanto al uso de suelo, Santa María presenta un marcado contraste entre las zonas bajas agrícolas y las zonas altas de matorral. De acuerdo con estudios del Ministerio de Agricultura, en el sector sur- poniente de la comuna predominan los terrenos agrícolas (policultivos, frutales y viñedos), beneficiados por las tierras fértiles del valle; mientras que hacia el sector nor-oriente prevalece el matorral esclerófilo y semiárido típico de la zona central . Este último consiste en vegetación de arbustos espinosos, matorral bajo subdesértico con especies suculentas y bosques esclerófilos andinos en las partes más altas [6] . La comuna cuenta además con sectores de interés ambiental, como la Laguna El Copín y su entorno de humedales, así como fragmentos de bosque esclerófilo andino, algunos bajo protección oficial (ej. Santuario de la Naturaleza El Zaino – Laguna El Copín) .

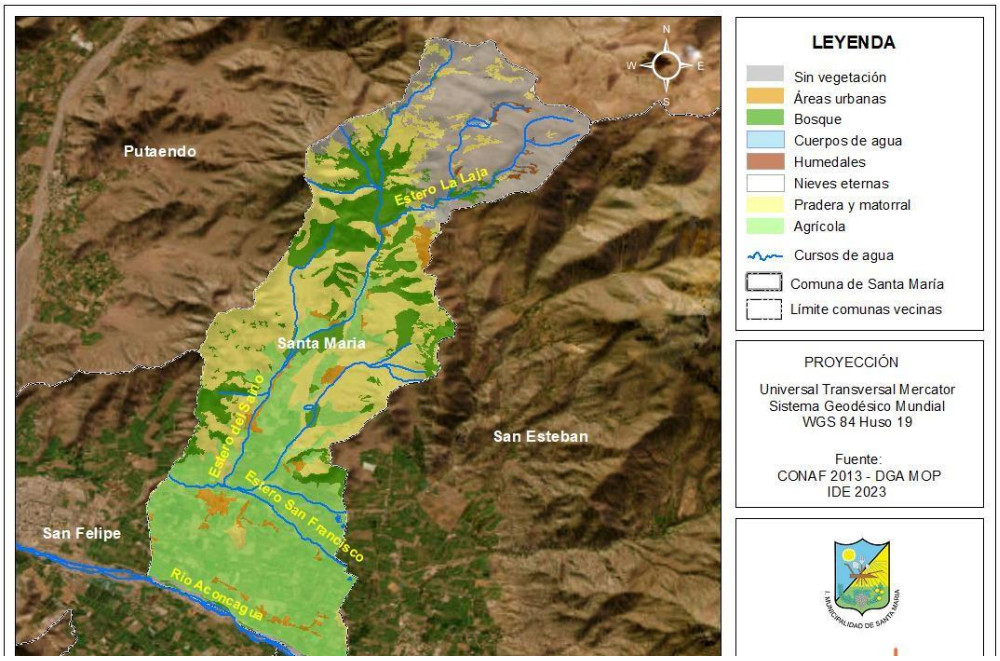


Ilustración 6: Cartografía de uso de Suelo de la Comuna de Santa María

Santa María posee una geografía de valle intermontano: sectores planos a orillas del río Aconcagua y áreas precordilleranas hacia el oriente que alcanzan alturas importantes. Esta variedad altitudinal determina distintos pisos ecológicos y climáticos en la comuna. De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, el territorio comunal va desde un clima Mediterráneo cálido con lluvias invernales (Csb) en las partes bajas, pasando por un Mediterráneo frío con lluvias invernales (Csc) en las zonas más elevadas, hasta condiciones de tundra alpina (ETH) en las cimas cordilleranas.

En términos simples, Santa María tiene un clima templado mediterráneo, con estaciones marcadas: veranos secos y muy calurosos (altas temperaturas y fuerte radiación solar) e inviernos fríos y nubosos con la mayor parte de las precipitaciones concentradas entre junio y agosto . Las primaveras y otoños actúan como períodos de transición moderada.

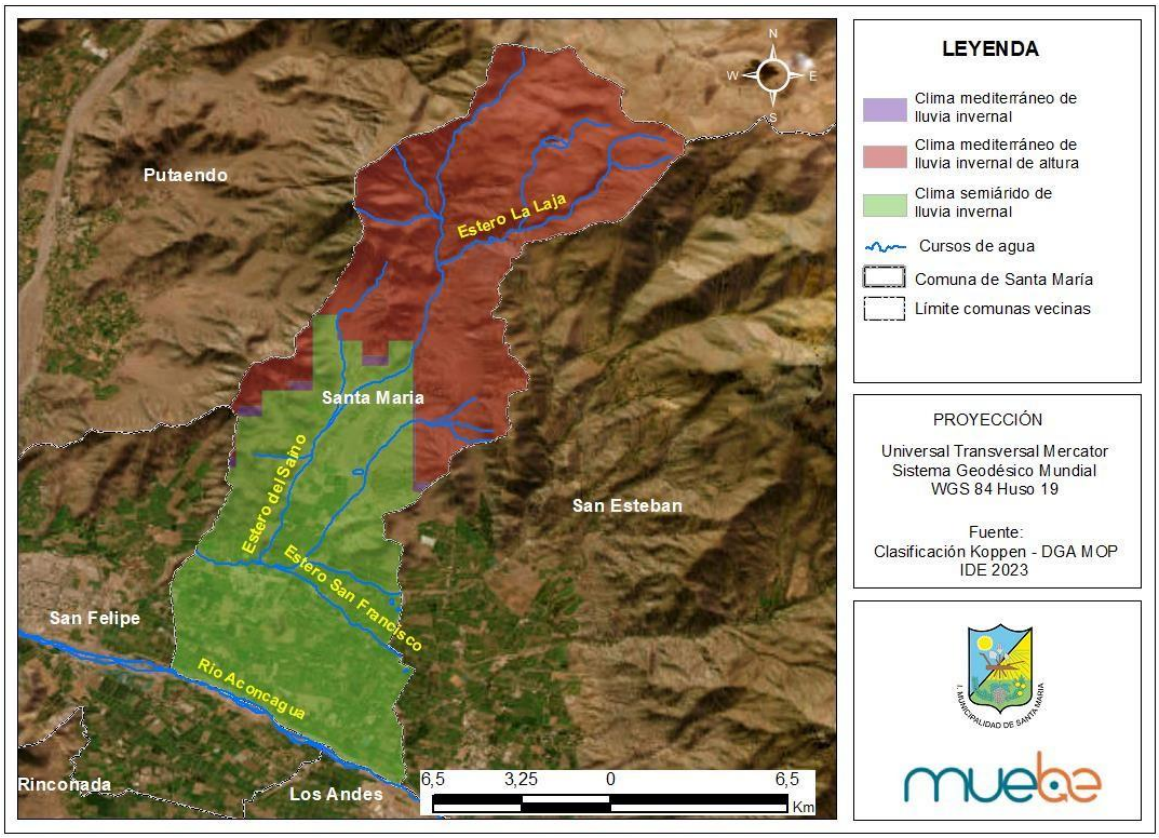


Ilustración 7: Tipo de Clima presentes en la Comuna de Santa María

La hidrografía local está dominada por el río Aconcagua, cuya cuenca abarca Santa María. El río Aconcagua corre cercano al límite sur de la comuna,

constituyendo la principal fuente de agua superficial para riego y abastecimiento. Además, atraviesan la comuna varios esteros y quebradas que descienden de la precordillera: destacan el Estero de Jahuel y el Estero San Francisco, que drenan las laderas nororientales hacia el valle [9] . Estos cursos de agua menores suelen ser estacionales, con caudales significativos solo en invierno. La presencia de acuíferos subterráneos asociados al río y esteros permite la extracción de agua para uso agrícola, aunque la disponibilidad hídrica ha mermado en años recientes debido a la prolongada sequía regional

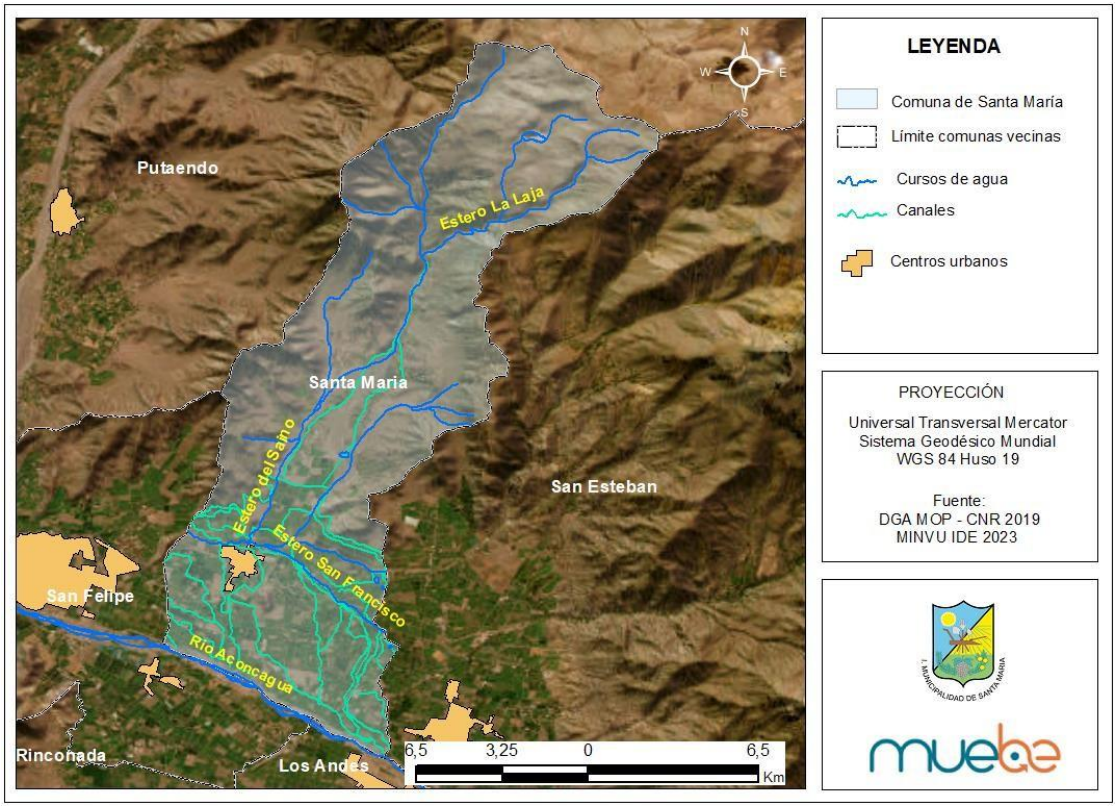


Ilustración 8: Hidrografía de la Comuna de Santa María

Históricamente, esta disponibilidad de agua dulce permitió el desarrollo de una agricultura intensiva en la zona. El uso de suelo predominante en Santa María es agrícola, especialmente en el sector sur-poniente comunal, donde se encuentran cultivos de vid, frutales y hortalizas gracias a la fertilidad del valle y los sistemas de riego. Hacia las zonas noreste y de mayor elevación, el paisaje cambia a matorrales y vegetación esclerófila de cerro, adaptada al clima semiárido, junto con remanentes de bosques esclerófilos y formaciones arbustivas propias del clima mediterráneo. Esta cobertura vegetal natural es vital para la conservación de suelos y la biodiversidad local.

No obstante, el territorio de Santa María enfrenta vulnerabilidades ambientales significativas. Un estudio regional identificó que el principal riesgo natural en el área es la erosión hídrica de los suelos. Debido a las pendientes moderadas a fuertes de sus laderas y a una cobertura vegetal a veces rala (degradada por sobrepastoreo y actividades humanas), hasta un 63% de la superficie evaluada de la comuna presenta susceptibilidad a erosión severa. Esto significa que las lluvias intensas –que podrían volverse más erráticas con el cambio climático– amenazan con arrastrar y degradar los suelos fértiles, sobre todo en zonas de cerros con poca cobertura arbórea. Adicionalmente, la prolongada sequía reciente ha reducido la disponibilidad de agua en tranques y esteros locales, tensionando el riego agrícola y el abastecimiento urbano. La combinación de veranos más cálidos y secos, vegetación estresada por la falta de agua, y suelos erosionados aumenta el riesgo de incendios forestales y la pérdida de servicios ecosistémicos. Por otro lado, en época invernal, eventos de lluvia intensa concentrada (que podrían ocurrir aun en un clima más seco) pueden generar aluviones o inundaciones localizadas en quebradas, afectando asentamientos rurales. Este panorama evidencia que Santa María ya experimenta condiciones climáticas desafiantes y que el cambio climático podría exacerbar dichas condiciones, afectando tanto al sector productivo (agricultura, ganadería) como a la seguridad de sus habitantes y la infraestructura comunal.

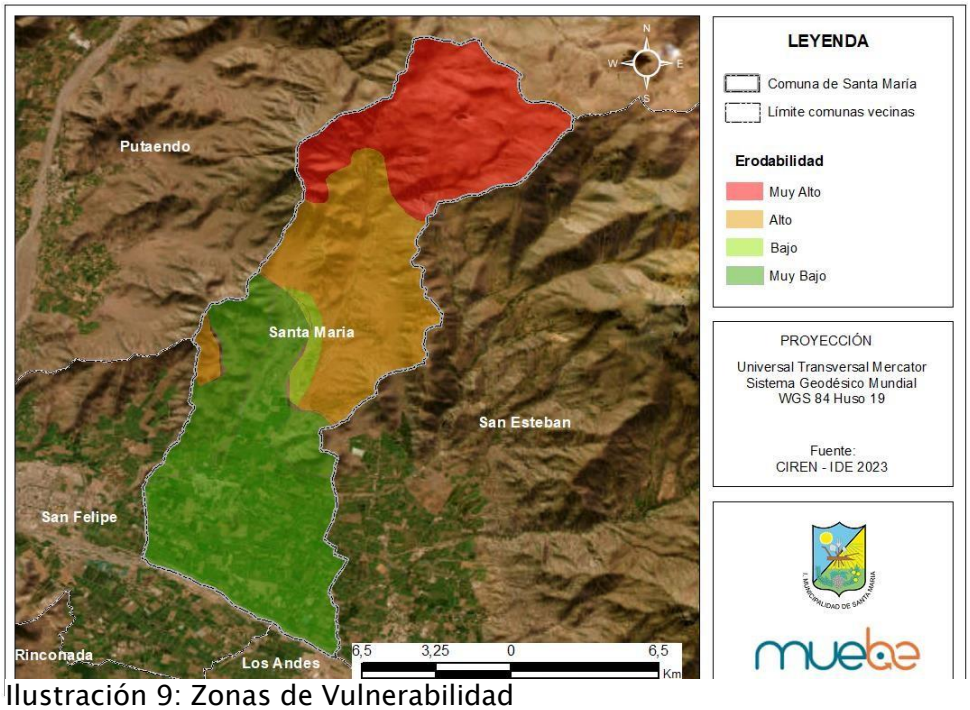


Ilustración 9: Zonas de Vulnerabilidad

En resumen, la realidad territorial, ambiental y climática de Santa María se caracteriza por un entorno rural-agropecuario mediterráneo, actualmente presionado por la escasez hídrica y la degradación de recursos naturales. Este contexto local refuerza la importancia de planificar acciones climáticas a escala comunal, enfocadas en proteger las fuentes de agua, conservar los suelos y ecosistemas, y preparar a la comunidad frente a los impactos presentes y futuros del clima.

3.2. ANÁLISIS CLIMÁTICO LOCAL

El clima de Santa María es de tipo Mediterráneo Semiárido típico de la zona central de Chile, con inviernos lluviosos y veranos secos. Según la clasificación de Köppen-Geiger, el territorio comunal abarca variantes climáticas como Mediterráneo de lluvia invernal (Csb) en el valle, Mediterráneo de altura (Csb(h)) en las zonas más elevadas, y sectores con rasgos de clima semiárido (BSk) hacia el extremo norte [10] . En la Cordillera de Los Andes por encima de ~3000 m, el clima transiciona a condiciones frías de tundra (ETH) con precipitaciones sólidas en invierno [11] . Esta diversidad climática se refleja en gradientes de temperatura y precipitación influenciados por la altitud y la continentalidad (distancia al mar).

3.2.1. TEMPERATURAS

La temperatura media anual en el valle del Aconcagua (provincia de San Felipe) es de aproximadamente 16 °C . Los veranos son calurosos, con días despejados y alta radiación solar: la temperatura máxima promedio de enero ronda los 27 °C, pero con frecuencia las máximas absolutas superan los 32 °C . Durante eventos extremos de olas de calor, se han registrado valores record: por ejemplo, el 26 de enero de 2019 Santa María alcanzó 42,5 °C, la temperatura más alta medida históricamente en la zona central. Este registro excepcional se dio en el contexto de una ola de calor generalizada que afectó los valles interiores de Valparaíso, O'Higgins y Metropolitana. Los inviernos, en cambio, son fríos y nubosos; la temperatura mínima promedio en julio puede bajar a ~2–3 °C [18] , con frecuentes heladas meteorológicas en las madrugadas despejadas. Las mínimas invernales absolutas oscilan cerca de 0 °C o por debajo en áreas rurales, afectando cultivos y vegetación sensible (ej. heladas negras que dañan frutales). La amplitud térmica diaria es alta en la comuna (especialmente en verano, debido al cielo despejado), y la oscilación anual supera los 12 °C [19] , indicando veranos muy más cálidos que los inviernos.

3.2.2. PRECIPITACIONES

lluvias están fuertemente concentradas en invierno. El régimen es pluviométrico invernal con un largo período seco. En promedio caen entre 250 y 300 mm de precipitación total al año en la zona de Santa María [20] , aunque puede variar según la altitud (sectores más altos reciben algo más de lluvia/nieve). Estudios provinciales señalan un rango de 250 a 450 mm/año en la provincia de San Felipe [21] , estando Santa María hacia el extremo inferior de ese rango por su carácter interior y semiárido. La mayor parte de la lluvia (alrededor del 70% del total anual) ocurre entre mayo y agosto, mientras que los veranos son muy secos (apenas un 2% de las lluvias caen entre diciembre–febrero) .Típicamente, julio es el mes más húmedo. Durante la estación seca extendida (tradicionalmente~8 meses sin lluvias significativas), el suelo y la vegetación experimentan marcado déficit hídrico, sólo mitigado parcialmente por algunas lloviznas costeras o roció. La humedad relativa del aire en verano es moderada (55–65%) pero aumenta hacia sectores cercanos a la costa; en Santa María, más interior, los veranos son más secos y calurosos que en Valparaíso litoral.

Tendencias y eventos extremos: En las últimas décadas el clima local ha mostrado señales consistentes con las tendencias regionales de cambio climático. Entre 2010 y 2020, la zona central de Chile experimentó la llamada “megasequía”: un déficit pluvial prolongado y acumulativo. En el territorio entre Coquimbo y La Araucanía (que incluye a Valparaíso), las precipitaciones anuales bajaron en torno a un 30% por debajo de lo normal desde 2010, convirtiendo este periodo en la sequía más larga y severa registrada históricamente en Chile central. Santa María ha sido directamente afectada por esta sequía: años extremadamente secos (como 2019) registraron menos de 150 mm en la estación de San Felipe, causando escasez de agua para riego y recarga insuficiente de acuíferos. En paralelo, las temperaturas medias y extremas han ido en aumento. El número de olas de calor ha incrementado, con episodios de 3 a 5 días consecutivos sobre 30–35 °C casi cada verano reciente. El aumento térmico también se ha agravado, la evapotranspiración, intensificando la aridez estival. Por otro lado, eventos de lluvia intensa en invierno tienden a ser esporádicos pero más concentrados; por ejemplo, temporales invernales asociados a ríos atmosféricos que dejan >50 mm en 24 horas pueden ocurrir cada pocos años y provocan inundaciones locales y deslizamientos.

En síntesis, el clima local es mediterráneo semiárido con una marcada variabilidad interanual. Las principales amenazas climáticas derivadas de este régimen (amplificadas por el cambio climático) incluyen: sequías prolongadas, olas de calor extremas, heladas tardías o tempranas que impactan la agricultura, y ocasionalmente precipitaciones intensas invernales que pueden detonar aluviones.

3.3. BIODIVERSIDAD

La comuna de Santa María, en la región de Valparaíso, se sitúa en la zona central de Chile, área reconocida a nivel mundial como un hotspot de biodiversidad por su alto endemismo y la fuerte presión antrópica que amenaza sus ecosistemas. En este capítulo se caracterizan los ecosistemas locales, sus especies más relevantes, que brindan, las principales amenazas asociadas Incluyendo el cambio climático,

3.3.1. ECOSISTEMAS PRESENTES EN SANTA MARÍA

Santa María abarca una diversidad de ecosistemas típicos de la zona mediterránea chilena, desde el valle hasta la precordillera andina. Cerca de 66% del territorio comunal mantiene coberturas naturales, y el restante corresponde principalmente a uso agrícola ($\approx$32%) y áreas urbanas ($<$2%). Los principales ecosistemas identificados son:

•Bosque escesclerófiloe encuentra en sectores protegidos de las quebradas y faldeos precordilleranos, formando bosquetes relictos dentro de la matriz de matorral. Este bosque siempreverde de hojas duras está dominado por especies típicas como peumo (Cryptocarya alba), quillay (Quillaja saponaria), boldo (Peumus boldus) y litre (Lithraea caustica), acompañadas de árboles espinosos como espino (Acacia caven) y algarrobo (Prosopis chilensis). Se presenta principalmente en la parte baja de la cuenca del estero El Zaino y quebradas asociadas, donde la disponibilidad de agua permite su desarrollo. Aunque fragmentado, este bosque provee hábitat a fauna nativa y presenta alto valor ecológico por su singularidad

• Matorrales y vegetación de transición: el matorral xerófito mediterráneo cubre gran parte de los cerros y zonas de lomaje. Está compuesto por arbustos esclerófilos y suculentas adaptadas a la sequía, como coliguay (Colliguaja odorifera), trevo (Trevoa quinquenervia), chagual (Puya chilensis), chuquiraga (Chuquiraga oppositifolia), entre otros. Según la clasificación Ministerio del Medio Ambiente, en Santa María predominan formaciones de

matorral espinoso interior y matorral bajo pre-andino, tipologías consideradas en estado de conservación Preocupación Menor (LC). Estas formaciones cubren gradualmente la transición desde la zona basal agrícola hasta áreas de mayor altitud, integrándose con bosquetes en quebradas húmedas y praderas de altura. En sectores más altos (>1500 m), el matorral da paso a vegas altoandinas y estepas abiertas.

• Zonas agrícolas: la llanura aluvial del valle del Aconcagua concentra la actividad agrícola intensiva de la comuna. Aproximadamente 5.300 ha (32%) del territorio comunal son usados para agricultura de riego y secano. Predominan cultivos y plantaciones de frutales de exportación, vides, nogales, cerezos) y olivos, además de praderas de uso ganadero. Estas áreas agrícolas se benefician de la fertilidad de los suelos aluviales y la disponibilidad de agua de riego proveniente del río Aconcagua y canales derivados (ej. estero San Francisco). Sin embargo, implican la transformación de ecosistemas naturales originales en paisajes dominados por especies vegetales exóticas de interés productivo. En los márgenes agrícolas aún subsisten árboles nativos aislados (espinos, algarrobos) que brindan servicios de sombra, forraje apícola y conectividad ecológica parcial.

• Ribera del río Aconcagua y humedales: El río Aconcagua corre por el límite sur de la comuna, formando un corredor ecológico fluvial de gran importancia. Sus riberas albergan vegetación riparia con especies higrófitas como álamos (introducidos), maquis (Baccharis spp.) y culenes (Oenanthe spp., entre otras), junto a remanentes de bosque de ribera. Si bien gran parte de la ribera ha sido modificada para uso agrícola y enfrentó degradación (ej. basurales), existen iniciativas comunitarias en marcha para restaurar el borde río con senderos interpretativos y reforestación nativa (Proyecto "Sendero EcoAconcagua" 2025). Un elemento destacado es la Laguna El Copín, un humedal altoandino situado a ~2.455 msnm en la cabecera del estero El Zaino. Esta laguna perenne actúa como sitio de recarga de acuíferos de la comuna y alimenta una cadena de vertientes y vegas que drenan por el estero El Zaino. La Laguna El Copín y su entorno han sido reconocidos como sitio prioritario de conservación dada su función ecosistémica y la presencia de biodiversidad única. De hecho, este humedal fue declarado Santuario de la Naturaleza en 2020 y es parte del Plan Nacional de Protección de Humedales 2018-2022 .

3.3.2. ESPECIES NATIVAS, ENDÉMICAS Y EN CATEGORÍA DE CONSERVACIÓN

La comuna de Santa María alberga una notable riqueza biológica, con un alto número de especies nativas y endémicas propias de la zona central de Chile. Estas especies forman parte de ecosistemas mediterráneos únicos, especialmente el bosque y matorral esclerófilo, adaptados a veranos secos e inviernos lluviosos. Dentro de la flora, destacan especies como el quillay, peumo, boldo, litre, espino, maitenes, molle, arrayán y algarrobo, todas ellas nativas y varias consideradas endémicas de la zona central. Algunas de estas presentan además un estatus de conservación preocupante: el guayacán (Porlieria chilensis) está catalogado como Vulnerable a nivel nacional debido a la sobreexplotación y pérdida de hábitat, mientras que el algarrobo (Prosopis chilensis) también es considerado Vulnerable por la disminución de sus poblaciones relictas. Se suman a esta lista cactáceas como el sandillón (Eriosyce aurata) y otras especies propias de cerros áridos. Un caso singular es la presencia del canelo (Drimys winteri), árbol de valor cultural mapuche que, aunque más común en zonas australes, ha sido registrado en quebradas húmedas de la comuna.

En cuanto a la fauna, Santa María mantiene una diversidad destacable de especies nativas, muchas de ellas adaptadas a los ambientes de matorral, cerros y zonas precordilleranas. Entre los mamíferos, se encuentran el zorro culpeo y el zorro chilla, depredadores medianos que cumplen un rol en el control de roedores. También habita el gato colocolo (Leopardus colocolo), un pequeño felino silvestre considerado “Casi Amenazado” por la UICN debido a la pérdida de hábitat. En las zonas altas del Santuario El Zaino se conserva una pequeña población de guanacos (Lama guanicoe), especie catalogada como Vulnerable. La avifauna es muy rica, con más de 40 especies registradas entre residentes y migratorias. Entre ellas, se destacan la tagua o blanquillo (Fulica leucoptera), la perdiz chilena, la turca (Pteroptochos megapodius), el choroy (Enicognathus leptorhynchus) y el cóndor andino (Vultur gryphus), este último también clasificado como Vulnerable en Chile. Las aves rapaces como el peuco (Parabuteo unicinctus) y el aguilucho común (Geranoaetus polyosoma) también están presentes.

La herpetofauna incluye especies endémicas de alto valor, como la iguana chilena (Callopistes palluma), catalogada como Casi Amenazada, y diversas especies de lagartijas del género Liolaemus. Dos especies de matuastos del género Phymaturus, registradas en la alta montaña de Jahuel, están bajo

riesgo elevado: P. alicahuense se encuentra En Peligro Crítico y P. cf. darwini En Peligro. Entre los anfibios, el sapo de pecho espinoso (Alsodes nodosus) destaca por su presencia en arroyos cordilleranos y su estado de conservación Casi Amenazado. También se han identificado pequeñas ranas y sapos en vegas altoandinas. Por otro lado, los cursos de agua como el río Aconcagua albergan peces nativos como el pejerrey chileno (Basilichthys australis), aunque su comunidad ha sido alterada por la introducción de especies como truchas y salmones.

Estas especies cumplen funciones ecológicas esenciales para el ecosistema local: control de plagas por parte de rapaces y carnívoros, polinización por insectos y aves, y dispersión de semillas a través de frugívoros como aves y mamíferos. Además, muchas de ellas presentan adaptaciones particulares al clima mediterráneo de la región, como la estivación en anfibios, metabolismos lentos en reptiles y hábitos oportunistas en mamíferos. Sin embargo, gran parte de esta biodiversidad está en riesgo debido a la fragmentación del hábitat, la reducción de cobertura vegetal y otras presiones antrópicas. Frente a ello, la identificación y protección activa de especies prioritarias —como el guayacán, el algarrobo, el gato colocolo y el sapo de rulo— es una tarea central del Plan de Acción Climática Comunal, que busca conservar este patrimonio natural y garantizar su rol ecológico en el territorio.

3.3.3. COBERTURA VEGETAL, CORREDORES BIOLÓGICOS Y ÁREAS DE CONSERVACIÓN

El paisaje vegetal de Santa María combina remanentes de vegetación nativa con matrices agrícolas, lo que genera un mosaico fragmentado. Los mapas de cobertura vegetal comunales (basados en imágenes satelitales y catastros de CONAF) confirman que las formaciones vegetacionales naturales cubren cerca de dos tercios de la comuna. Estas formaciones se distribuyen principalmente en la zona montañosa al norte y oriente (predominan matorrales esclerófilos abiertos y bosquetes en quebradas), mientras que la planicie aluvial central está ocupada por cultivos y asentamientos. La fragmentación es marcada en la transición valle-montaña, donde parches de bosque esclerófilo quedan aislados entre potreros y chacras. Identificar y promover corredores biológicos resulta clave para conectar estos parches, permitiendo el desplazamiento de fauna y el flujo genético de flora. Corredores potenciales incluyen las franjas riparias del río Aconcagua y de

esteros como San Francisco y El Zaino, así como cercos vivos y setos con árboles nativos entre predios agrícolas.

En cuanto a áreas protegidas, la comuna cuenta con un logro importante: el Santuario de la Naturaleza "El Zaino – Laguna El Copín", creado oficialmente en 2020 por el Ministerio del Medio Ambiente. Este Santuario abarca una superficie aproximada de 6.741 hectáreas dentro de Santa María, cubriendo gran parte de la cuenca alta de Jahuel (valle El Zaino y laguna El Copín). Su declaratoria obedece a la significativa biodiversidad presente (flora y fauna nativa sin especies exóticas dominantes) y a la importancia arqueológica del lugar. El Santuario protege paisajes que van desde matorrales espinosos de media montaña hasta humedales altoandinos, con ecosistemas representativos de la ecorregión mediterránea andina. Notablemente, esta área corresponde a un sitio identificado previamente como prioritario para la conservación en la Estrategia Regional de Biodiversidad 2008 Con la creación del Santuario, cerca del 40% de la superficie comunal quedó bajo alguna figura de protección oficial, lo cual es un porcentaje destacado a nivel regional.

Además del Santuario, Santa María posee otros sitios de valor ecológico designados en planes regionales. En total se reconocen 4 sitios prioritarios de conservación en la comuna (cubriendo ~2.773 ha, un 17% del territorio) según la Estrategia Regional. Estos incluirían: (1) El Zaino–Laguna Copín (ahora Santuario), (2) posiblemente la ribera del Río Aconcagua y alrededores de Santa Filomena (por sus vegas y valor hídrico–cultural), (3) alguna sección de cerros de transición hacia San Esteban con biodiversidad remanente, y (4) áreas de matorral de altitud hacia el límite con Putaendo. Si bien no cuentan aún con protección legal plena, su identificación orienta acciones de conservación voluntaria o futura.

En cuanto a figuras de conservación privadas o comunitarias, no se registran (a 2025) iniciativas adicionales en Santa María aparte del Santuario. Sin embargo, comunidades agrícolas locales, como la de Jahuel, han mostrado interés en resguardar sus recursos naturales tradicionales. De hecho, el Santuario El Zaino laguna del Copín con su gestión comunitaria (Comunidad de Jahuel y ONG CIEM Aconcagua) apoyada por organismos como The Nature Conservancy, evidenciando el rol activo de la comunidad en la protección de su entorno.

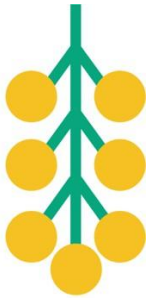
Zonas prioritarias de conservación: El siguiente mapa ilustra la ubicación del Santuario de la Naturaleza El Zaino-Laguna El Copín (área verde sombreada) en el norte de la comuna, así como otros elementos del paisaje.

Por ultimo, es relevante mencionar la figura del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE): en Santa María no existen parques o reservas nacionales de SNASPE, pero el Santuario de la Naturaleza (establecido bajo la Ley 17.288 de Monumentos Nacionales) cumple una función análoga de protección de ecosistemas. Sumado a ello, el Inventario Nacional de Humedales del MMA registra la laguna El Copín como humedal relevante de la Región de Valparaíso , lo que la hace elegible para programas especiales de conservación de humedales. Así, la comuna cuenta con bases sólidas (información y áreas designadas) para planificar su infraestructura ecológica, es decir, la red de zonas que sustentan los procesos ecosistémicos esenciales.

CAPÍTULO 4

RIESGOS Y AMENAZAS CLIMÁTICAS





4.1. RIESGOS Y AMENAZAS CLIMÁTICAS LOCALES

Diversos riesgos climáticos amenazan a la comuna de Santa María, dado su contexto de ecosistemas mediterráneos propensos a incendios, pendiente del terreno y dependencia hídrica del río Aconcagua. A continuación, se identifican los principales peligros climáticos locales y sus implicancias:

4.1.1. INCENDIOS FORESTALES

El riesgo de incendios forestales en Santa María es significativo durante la temporada seca. La combinación de veranos calurosos, vegetación arbustiva seca y actividad humana genera condiciones propicias para la ignición y propagación de fuego. En la franja nororiental de la comuna (laderas precordilleranas cubiertas de matorral y bosque esclerófilo), la acumulación de biomasa seca en estíos prolongados incrementa la peligrosidad de incendios. Estudios a nivel nacional muestran que la incidencia de incendios en Chile central ha aumentado en las últimas décadas, atribuible en parte a las mayores temperaturas y sequedad del ambiente. La Región de Valparaíso en particular ha sufrido incendios catastróficos en veranos recientes; si bien muchos de los mayores siniestros han afectado zonas costeras (Valparaíso, Viña del Mar) y valles vecinos, Santa María no está exenta: cualquier verano con olas de calor y baja humedad puede originar focos en cerros con matorral. Las quemas agrícolas no controladas y colillas de cigarro mal apagadas son causas comunes de ignición. Un incendio de interfase en Santa María podría amenazar asentamientos rurales y predios agrícolas ubicados junto a cerros con vegetación. Es prioritario fortalecer la prevención (educación comunitaria, cortafuegos) y la coordinación con CONAF y bomberos para respuesta rápida. Cabe mencionar que el cambio climático proyecta condiciones aún más propicias para incendios (temperaturas al alza y sequías más frecuentes), por lo cual este riesgo tiende a agudizarse en el futuro.

4.1.2. REMOCIONES EN MASA Y EROSIÓN

Las remociones en masa como deslizamientos de tierra, derrumbes y aluviones (flujos de barro y detritos) constituyen otra amenaza presente, especialmente en la zona de precordillera de Santa María. El terreno de ladera con pendientes moderadas a fuertes cubierto por vegetación semiárida presenta susceptibilidad a erosión hídrica del suelo. Un estudio regional identificó que alrededor de 63% de la superficie evaluada de Santa

María posee erosión potencial severa bajo ciertas condiciones [28] . Durante eventos de lluvia intensa invernal (por ejemplo, un frente frío estacionario o un río atmosférico que descargue más de ~50–100 mm en pocos días), el agua escurre ladera abajo y puede provocar desprendimientos de material en cerros y quebradas. Históricamente, la comuna ha registrado pequeños aluviones localizados en quebradas como Jahuel en inviernos muy lluviosos, los cuales han causado cortes de caminos rurales y daños en terrenos agrícolas bajos (por deposición de sedimentos). Asimismo, la sismicidad de la zona central podría desencadenar deslizamientos en cerros inestables. Si bien no se cuentan con registros recientes de grandes desastres por aluviones en Santa María, el riesgo existe latente. Los suelos removidos por cultivo o sobrepastoreo quedan más expuestos a la erosión, por lo que prácticas de conservación (terrazeo, reforestación con especies nativas en laderas críticas) son importantes. Las zonas de mayor riesgo incluyen las quebradas y piedemontes de la zona norte y este comunal, donde comunidades rurales podrían quedar aisladas o sufrir daños ante un deslizamiento mayor. La planificación territorial debe evitar nuevas viviendas en faldas de cerro inestables y mantener fajas de protección ribereña sin construcciones.

4.1.3. SEQUÍA Y ESCASEZ HÍDRICA

La escasez hídrica es quizás el problema climático más acuciante para Santa María, como para gran parte de la región. La comuna depende en gran medida del río Aconcagua y de acuíferos asociados para su abastecimiento de agua potable rural y para riego agrícola. La prolongada megasequía 2010– 2021 redujo drásticamente los caudales: el río Aconcagua ha visto disminuciones sostenidas en su flujo base, con temporadas en que prácticamente no alcanzó a cubrir todas las demandas de riego aguas abajo. En 2019, por ejemplo, la Dirección General de Aguas declaró zona de escasez hídrica la cuenca del Aconcagua debido a precipitaciones invernales muy por debajo de lo normal. Según estimaciones científicas, la reducción de precipitaciones ~30% registrada en la última década se tradujo en mermas similares o mayores en la disponibilidad de agua superficial y recarga subterránea. Pequeños agricultores de Santa María han reportado secado de pozos someros y menor flujo en canales de regadío, obligando a racionamientos y a invertir en pozos más profundos o tranques acumuladores. La sequía también ha afectado la producción frutícola (uva de mesa, paltos, etc.), con disminución de rendimientos y hasta pérdida de 3.000 hectáreas productivas en la comuna en años recientes, según

autoridades locales. Esta situación impacta el empleo agrícola y la economía local. Adicionalmente, la vegetación natural sufre estrés hídrico prolongado, aumentando la mortalidad de especies sensibles y la ocurrencia de plagas/brotes de enfermedades (por ejemplo, más incendios de matorral seco, proliferación de insectos como la chaqueta amarilla en veranos secos). En síntesis, la vulnerabilidad hídrica de Santa María es alta, y se espera que el cambio climático imponga una tendencia a condiciones más secas a futuro, intensificando la competencia por el agua entre uso humano, agrícola y ambiental. Este riesgo requiere medidas de adaptación como la tecnificación de riego, gestión integrada de cuencas, protección de acuíferos y fomento de cultivos resilientes a la sequía.

(Otros peligros climáticos menores: Cabe mencionar que ocasionalmente pueden ocurrir inundaciones aluviales en la ribera del río Aconcagua si coinciden lluvias intensas y deshielos, así como tormentas eléctricas de verano en la precordillera que podrían iniciar incendios o causar crecidas repentinas en quebradas. No obstante, la frecuencia de tales eventos es baja. Asimismo, las olas de frío extremas pueden dañar cultivos de la comuna, aunque la nieve raramente cuaja en el valle.)

4.2. VULNERABILIDADES CLIMÁTICAS POR SECTORES DE LA COMUNA

A continuación se presenta una tabla síntesis de vulnerabilidades ante el cambio climático por sectores socioeconómicos clave de Santa María. Se identifican los principales impactos o fragilidades de cada sector frente a las amenazas climáticas descritas:

Sector Vulnerabilidades climáticas principales

SECTOR	VULNERABILIDADES CLIMÁTICAS PRINCIPALES
Recursos hídricos (agua potable y riego)	Escasez hídrica por disminución de caudales en el río Aconcagua y esteros, agotamiento de pozos y acuíferos en períodos de sequía prolongada. Competencia por el agua entre uso agrícola y consumo humano en años secos, generando necesidad de racionamiento. Disminución en la calidad del agua: mayor concentración de contaminantes y riesgo sanitario en sistemas APR rurales durante estiaje.

SECTOR	VULNERABILIDADES CLIMÁTICAS PRINCIPALES
Agricultura y ganadería	Déficit de riego que provoca pérdida de rendimiento en cultivos y necesidad de migrar a variedades más resistentes a la sequía. Estrés térmico: olas de calor causan golpe de sol y deshidratación de frutos, además de reducir la productividad del ganado (pérdida de peso y estrés calórico). Heladas atípicas (tardías o tempranas) afectan brotes y flores en frutales como vid y palto, e incrementan la mortandad de animales jóvenes.
Ecosistemas y sectores forestales	Incendios forestales más frecuentes e intensos que provocan pérdida de cobertura vegetal nativa, degradación de hábitats y erosión de suelos. Sequía ecológica: mortalidad de árboles como quillay y litre, y reducción de fauna silvestre por falta de agua, afectando la biodiversidad local. Aumento de plagas y especies invasoras favorecidas por condiciones más cálidas y secas (barrenadores, roedores, malezas exóticas).
Salud pública y comunidad	Mayor exposición de la población a golpes de calor y deshidratación, especialmente en grupos vulnerables como adultos mayores, niños y enfermos crónicos. Aumento de enfermedades respiratorias por olas de calor y humo de incendios; posibilidad de expansión de enfermedades vectoriales como las transmitidas por mosquitos. Amenazas a la seguridad alimentaria: disminución de ingresos en pequeños agricultores y trabajadores rurales, favoreciendo la migración del campo a la ciudad.
Infraestructura y asentamientos	Daños a caminos rurales de tierra debido a lluvias intensas o aluviones, afectando la conectividad. Afectación de redes eléctricas y de telecomunicaciones por incendios o vientos extremos. Riesgo de deslizamientos e inundaciones en viviendas ubicadas en pendientes o cerca de cauces; mayor vulnerabilidad de viviendas rurales precarias ante eventos extremos (vientos, calor o frío). Colapso de sistemas de agua

SECTOR	VULNERABILIDADES CLIMÁTICAS PRINCIPALES
	potable rural durante sequías severas, con necesidad de abastecimiento mediante camiones aljibe.

Análisis de vulnerabilidad: Como se observa, los sectores hídrico y agropecuario son altamente vulnerables a la sequía, dada la dependencia del régimen pluvial. La población rural (27% de la provincia, con cientos de pequeños agricultores en Santa María) enfrenta riesgos directos en sus medios de vida. Grupos específicos como adultos mayores (una proporción significativa de la población comunal según el Censo) y niños están en mayor riesgo frente a extremos de calor o frio por su menor resiliencia fisiológica. Del mismo modo, las familias de sectores aislados o con menor ingreso son más vulnerables, al tener menos capacidad de adaptarse (ej. no cuentan con aire acondicionado, o dependen de pozos poco profundos).

Cabe destacar la vulnerabilidad de los servicios ecosistémicos: la reducción de bosque nativo y vegetación por incendios y sequía disminuye la protección natural contra erosión e inundaciones, realimentando las amenazas. La infraestructura crítica (ej. caminos, puentes, electrificación) requiere consideraciones de cambio climático en su diseño para soportar eventos más extremos. En suma, la matriz de vulnerabilidades muestra que los impactos del cambio climático en Santa María se transmiten de manera transversal a distintos sectores, pudiendo exacerbar desigualdades existentes si no se toman medidas adaptativas.

4.3. GRUPOS VULNERABLES Y ZONAS CRÍTICAS

Es fundamental identificar los grupos humanos más vulnerables y las zonas geográficas críticas dentro de Santa María, para focalizar los esfuerzos de adaptación y protección civil. A continuación se señalan los principales:

Adultos mayores y enfermos crónicos: La comuna presenta un porcentaje importante de población envejecida (según datos censales recientes, en línea con el envejecimiento rural nacional). Este grupo es especialmente sensible a olas de calor (riesgo de deshidratación, golpes de calor) y a olas de frío (hipotermia, complicaciones respiratorias). Asimismo, tienen menor movilidad para evacuación en caso de desastres naturales. Requieren planes especiales de apoyo (v.gr. alerta temprana de calor, centros climatizados, entregas de agua a domicilio en sequía).

Niños y niñas: Los menores de edad, especialmente en primera infancia, son vulnerables a los estrés térmicos (deshidratación, golpes de calor) y a la mala calidad del aire (humo de incendios, polvo en sequía). Además, eventos como interrupción de agua potable o energía afectan servicios críticos como escuelas y postas rurales, impactando su bienestar. Es importante incorporar educación climática en escuelas y asegurar continuidad de servicios básicos en emergencias para este grupo.

Pequeños agricultores campesinos: Un grupo clave en Santa María dado el alto número de explotaciones silvoagropecuarias familiares (539 predios según censo agropecuario). Son altamente dependientes del clima: la sequía prolongada puede arruinar sus cultivos o forzarlos a endeudarse por sistemas de riego de emergencia; heladas u olas de calor extremas pueden destruir cosechas especificas en cuestión este grupo sufre impacto económico y social significativo (pérdida de ingresos, migración forzada) si no cuenta con apoyo técnico y financiero para adaptarse (por ej., cambio de cultivos, seguros agrícolas, asistencia estatal en épocas críticas).

Comunidades rurales dispersas (sector secano): Localidades pequeñas o viviendas aisladas en las partes altas de la comuna (ej. sectores de Jahuel, Las Cadenas) enfrentan vulnerabilidad añadida. Suelen carecer de acceso robusto a red de agua potable (dependiendo de APR o pozos que bajan en sequía) y a veces vías de evacuación adecuadas. Son zonas críticas porque un evento extremo (incendio o aluvión) podría dejarlas incomunicadas. Por ejemplo, una remoción en masa en una quebrada podría bloquear el camino único de acceso. Del mismo modo, un incendio en cerros podría rodear un poblado si no existen cortafuegos. Identificar estas comunidades (p.ej. Las Vacas, La Higuera, San Fernando y otras localidades al norte) y priorizar allí planes de emergencia y adaptación es prioritario.

Zonas bajas adyacentes al río Aconcagua: Aunque la amenaza de gran inundación es moderada (el río lleva años con caudales menores por sequía), eventualmente un invierno muy lluvioso o un evento de crecida extraordinaria (por frentes sucesivos o fusión nival rápida) podría provocar desborde del río. Sectores como Las Juntas (en el límite con San Felipe) y áreas de chacras en la ribera sur del río son zonas críticas que podrían inundarse. También, en contextos de sequía, estas mismas zonas enfrentan el problema contrario: bajadas del nivel freático que secan norias y afectan bombeos de agua. Por tanto, la ribera del Aconcagua es un espacio de

atención tanto por riesgo hídrico como por importancia ecológica (cauce que abastece ecosistemas).

Zona precordillerana y piedemontes (nororiente): Corresponde a la franja montañosa con bosques y matorrales. Es crítica por riesgo de incendios forestales y por peligro de remociones en masa. Localidades ubicadas al pie de estas laderas (p. ej. Sector Jahuel arriba) podrían verse severamente afectadas si ocurre un incendio de copa o un derrumbe desde las alturas. Además, la pérdida de cobertura vegetal en estas laderas (por incendios reiterados o sobrepastoreo) aumentaría la escorrentía y riesgo de aluviones hacia áreas habitadas abajo. Esta zona crítica requiere acciones de protección de suelos y reforestación para mitigar riesgos.

En resumen, los grupos vulnerables identificados –adultos mayores, niños, pequeños agricultores y comunidades rurales aisladas– y las zonas críticas ribera del Aconcagua, piedemontes precordilleranos y localidades rurales con baja conectividad demandan especial consideración en el Plan de Acción. Las medidas de adaptación (tanques de agua comunitarios, refugios climáticos, planes de evacuación, cortafuegos, entre otras) deberán priorizar a estos grupos y lugares, integrando el conocimiento local y la participación de la comunidad en la gestión del riesgo climático.

4.4. VULNERABILIDAD SOCIAL, FÍSICA Y AMBIENTAL

La vulnerabilidad al cambio climático en Santa María depende de características sociales, físicas (infraestructura) y ambientales que modulan el impacto de las amenazas. A continuación se evalúan estos factores, identificando zonas críticas y grupos sensibles:

· **VULNERABILIDAD SOCIAL:** La comuna tiene aproximadamente 17.000 habitantes (proyección 2024), con un 35% de población rural dispersa en áreas agrícolas. Esta alta ruralidad implica que muchas familias dependen de la agricultura y agua de riego, siendo muy sensibles a sequías prolongadas. Además, cerca del 15% de la población tiene 65 años o más , lo que supone un índice de envejecimiento en aumento (80 adultos mayores por cada 100 menores de 15 proyectado a 2024). Los adultos mayores y enfermos crónicos son más propensos a sufrir golpes de calor durante olas de calor y problemas de salud asociados a contaminación del aire por humo de incendios. También hay que considerar la población infantil y escolares,

susceptibles a deshidratación y a interrupción de clases por eventos extremos (ej. inundaciones o calor extremo). En términos socioeconómicos, Santa María presenta índices de pobreza superiores al promedio regional en 2017 la tasa de pobreza por ingresos era 12,9%, casi el doble de la regional (7,1%), aunque bajó a 8,9% en 2022. La pobreza y la desigualdad reducen la capacidad de adaptación: hogares de bajos ingresos tienen viviendas menos resilientes, menor acceso a seguros agrícolas, y menos recursos para enfrentar emergencias (generadores, sistemas de respaldo de agua, aire acondicionado, etc.). Otro grupo sensible son los pequeños agricultores y campesinos, cuyos medios de vida (cultivos, ganado) están altamente expuestos a la variabilidad climática; una sequía severa o una helada puede devastar sus cosechas y dejarles sin sustento, afectando la seguridad alimentaria local.

· **VULNERABILIDAD DE LA INFRAESTRUCTURA FÍSICA:** Se evalúa cómo los edificios, vías y servicios de la comuna resisten eventos climáticos. En Santa María existen viviendas antiguas de adobe y construcciones informales en sectores rurales, que son estructuralmente frágiles ante extremos climáticos. Por ejemplo, ante lluvias intensas algunas viviendas pueden sufrir inundación o daños por filtraciones, mientras que olas de calor prolongadas pueden afectar construcciones precarias elevando temperaturas interiores a niveles insalubres. La infraestructura crítica incluye caminos rurales, puentes, sistemas de agua potable rural (APR), alcantarillado, redes eléctricas y equipamientos como escuelas y postas de salud. Los caminos no pavimentados son vulnerables a cortes por remociones en masa o erosión durante lluvias torrenciales. De igual modo, puentes pequeños sobre esteros (ej. en San Francisco o Jahuel) podrían colapsar si hay crecidas repentinas. Muchos sectores dependen de pozos y norias para agua; en sequías prolongadas, estos sistemas pueden secarse dejando poblados rurales desabastecidos. Las redes eléctricas aéreas, por su parte, son susceptibles a interrupciones durante incendios (que queman postes y tendido) o por altas temperaturas que dilatan cables reduciendo su eficiencia. Un aspecto critico es la cercanía de infraestructura a zonas de riesgo: por ejemplo, algunas viviendas y bodegas agrícolas están emplazadas en la planicie aluvial del río Aconcagua o en quebradas, zonas que históricamente se han inundado. Estas se consideran zonas críticas donde la exposición física es alta. También la infraestructura de riego (canales, tranques) sufre con eventos extremos: en sequía se quedan sin caudal, en lluvias fuertes pueden colapsar por exceso de caudal o arrastre de sedimentos.

· **VULNERABILIDAD AMBIENTAL (ECOSISTEMAS):** Los ecosistemas locales – bosques esclerófilos, matorrales, suelos agrícolas, cursos de agua – presentan vulnerabilidades propias. Décadas de menor lluvia han generado estrés hídrico en la vegetación nativa, incrementando la mortalidad de árboles y matorrales y facilitando la invasión de especies exóticas resistentes a la sequía. Esto reduce la cobertura vegetal y deja suelos más expuestos a erosión e incendios. Los fragmentos de bosque esclerófilo en cerros de Santa María (con especies como quillay, litre, espino) son sensibles a incendios forestales; tras un incendio, la recuperación es lenta y la pérdida de cobertura vegetal puede causar derrumbes en laderas. Asimismo, la fauna local (aves, pequeños mamíferos) enfrenta la reducción de fuentes de agua y cambios en hábitat por el clima más seco. En términos de servicios ecosistémicos, la regulación hídrica de las cuencas se ve mermada: menos bosque implica menor infiltración y menor recarga de acuíferos, exacerbando la escasez de agua. Zonas húmedas o vegas que existen en la comuna podrían secarse. Por otro lado, plagas y enfermedades agrícolas tienden a proliferar con veranos más cálidos (por ejemplo, aumentan poblaciones de insectos como la polilla de la vid, o vectores de enfermedades en frutales), afectando los ecosistemas agrícolas y requiriendo mayor control. Un aspecto ambiental crítico es la calidad del aire: los incendios generan humo denso que degrada la atmósfera local, afectando a personas y también a la fauna doméstica y silvestre. En suma, los sistemas naturales de Santa María tenían cierta resiliencia al clima pasado, pero el ritmo y magnitud del cambio climático actual exceden la capacidad adaptativa natural, volviéndolos más vulnerables a colapsos o pérdidas abruptas de biodiversidad.

En la identificación de zonas críticas se han combinado las dimensiones anteriores: destacan los sectores rurales de secano (por su vulnerabilidad socioeconómica y dependencia climática), las localidades cercanas a cauces (La Higuera, Chacayes, etc., expuestas a inundación), y los barrios con alta población envejecida (donde olas de calor y contaminación por humo tendrían mayor impacto en salud). Estas zonas críticas requieren atención prioritaria en las acciones de adaptación. Igualmente, los grupos sensibles – adultos mayores, niños, enfermos crónicos, agricultores familiares – necesitan medidas de apoyo especificas (alertas tempranas, refugios climatizados, asistencia técnica y financiera) para reducir su vulnerabilidad frente a las amenazas climáticas.

4.5. MATRIZ DE RIESGOS PRIORIZADOS

Considerando la probabilidad de ocurrencia de cada amenaza climática y la severidad de sus impactos, se elabora una matriz de riesgos para Santa María. Esta matriz permite priorizar las amenazas que requieren atención más urgente en la planificación comunal de adaptación. A continuación se presenta la matriz con los principales riesgos climáticos, evaluando su probabilidad (baja, media, alta) y impacto potencial (menor, moderado, mayor) y asignando un nivel de riesgo (bajo, medio, alto) para la comuna:

Amenaza Climática	Probabilidad	Impacto Potencial	Nivel de Riesgo
Sequía prolongada	Alta (ocurre casi todos los años recientes)	Escasez hídrica generalizada, pérdida de cultivos, racionamiento de agua	🔴 **Alto – Riesgo crítico**: afecta recursos hídricos y economía local
Olas de calor	Alta (veranos cada vez más cálidos, >3 eventos/año)	Afectación a salud pública, aumento en demanda eléctrica	🔴 **Alto – Muy significativo**, especialmente en verano
Incendios forestales	Media-Alta (incendio mayor cada pocos años)	Pérdida de viviendas rurales, daño ecosistémico, contaminación del aire	🔴 **Alto – Riesgo elevado**, con temporadas más severas
Lluvias intensas / Inundaciones	Media (1 cada 5–10 años)	Daños localizados en infraestructura, cortes de caminos	🟠 **Medio – Riesgo importante pero acotado**
Heladas extremas	Media (ocasionales, menos frecuentes por calentamiento)	Pérdidas agrícolas, daños en frutales	🟠 **Medio – Riesgo relevante**, parcialmente mitigable con tecnología
Remociones en masa	Baja–Media (requiere lluvias intensas y condiciones particulares)	Daños puntuales en caminos y viviendas en laderas	🟡 **Medio-bajo – Riesgo localizado**, importante en zonas de pendiente

Justificación de la priorización Sequias, olas de calor e incendios forestales aparecen como riesgos prioritarios de nivel Alto, dado que su probabilidad aumenta bajo el cambio climático y sus impactos abarcan a gran parte de la comunidad (afectando suministro de agua, salud, viviendas y medios de vida). La sequía, en particular, se considera el riesgo más crítico por su

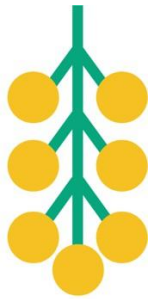
carácter crónico y su efecto multiplicador en otros problemas (incendios, escasez hídrica, conflictos por el agua). Las olas de calor, al volverse más frecuentes, representan una amenaza nueva para la salud pública que antes era esporádica; ahora requieren planes de acción (alertas, refugios climáticos) para reducir golpes de calor. Los incendios forestales, impulsados por las condiciones más secas y calurosas, amenazan no solo los bosques sino también viviendas y infraestructura, como se evidenció en incendios recientes en Chile central. En un segundo nivel de prioridad (Riesgo Medio) se ubican las inundaciones por lluvias intensas y las heladas. Si bien las proyecciones indican menos lluvias totales, eventos extremos pueden ocurrir y causar inundaciones; su probabilidad es menor que las sequías, pero no despreciable. Las heladas podrían disminuir en frecuencia con el calentamiento global, pero una helada anómala aún puede ocurrir y causar pérdidas agrícolas cuantiosas, por lo que permanece como riesgo medio. Finalmente, las remociones en masa se estiman de riesgo medio-bajo: dependen de escenarios muy específicos (lluvias torrenciales post-sequía o post-incendio) y afectarían áreas limitadas, aunque con potencial de daño alto en esos puntos.

En conclusión, la matriz de riesgos climáticos de Santa María orienta la planificación adaptativa: primero, abordar las amenazas de mayor riesgo (sequía, calor, incendios) con medidas robustas de adaptación y respuesta; segundo, preparar protocolos para eventos de lluvia extrema y heladas, que aunque menos frecuentes, pueden golpear duramente; tercero, mantener monitoreo en zonas de ladera por posibles deslizamientos. Esta priorización asegura un uso eficiente de los recursos comunales, focalizando esfuerzos en reducir los riesgos climáticos más apremiantes para proteger a la comunidad, sus medios de vida y el entorno natural.

CAPÍTULO 5

INVENTARIO DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI)





5.1. METODOLOGÍA DE CÁLCULO DEL INVENTARIO (IPCC 2006 Y GUÍAS MMA)

El inventario de GEI de la comuna de Santa María se desarrolló siguiendo las Directrices del IPCC de 2006 para Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, adaptadas a escala local según las guías proporcionadas por el Ministerio del Medio Ambiente (MMA) de Chile. En particular, se aplicaron los lineamientos metodológicos del Programa Huella Chile para inventarios comunales, los cuales combinan el Protocolo Global para Inventarios de Emisiones a Escala Comunitaria (GPC) con las directrices IPCC 2006 y el Sistema Nacional de Inventarios de Chile (SNICHILE). Esto garantiza consistencia con la metodología nacional y las mejores prácticas internacionales.

La metodología IPCC se basa en un enfoque actividad $\times$ factor de emisión, donde las emisiones se calculan multiplicando datos de actividad (por ejemplo, cantidad de combustible consumido, toneladas de residuos generados, número de animales, etc.) por factores de emisión correspondientes. La ecuación fundamental empleada es: Emisiones GEI = Dato de Actividad (DA) $\times$ Factor de Emisión (FE).

Para cada sector, se identificaron las fuentes de datos de actividad más apropiadas a nivel comunal y se seleccionaron factores de emisión conformes a IPCC 2006, priorizando factores nacionales o regionales cuando estaban disponibles (metodología de Nivel 2), y usando factores por defecto IPCC cuando no había datos locales (Nivel 1). Este enfoque multi-nivel permite ajustar el inventario a las realidades locales sin perder rigor técnico. Asimismo, se aplicaron los Potenciales de Calentamiento Global (PCG) del Quinto Informe de EvEvaluaciónAR5) del IPCC para convertir todos los gases a toneladas de CO2 equivalente (tCO2e), en concordancia con las recomendaciones internacionales actuales.

Las guías del MMA enfatizan los principios de transparencia, consistencia, comparabilidad, integridad y precisión en la elaboración de inventarios . Por ello, toda la información de entrada, supuestos y cálculos han sido documentados y se incluyen referencias a fuentes oficiales (por ejemplo, estadísticas de energía, registros vehiculares, datos de residuos municipales, censos agropecuarios, etc.). Además, se consideraron las recomendaciones del SNICHILE para asegurar que el inventario comunal sea coherente con el Inventario Nacional de GEI (INGEI) de Chile. Cabe señalar

que, según el enfoque IPCC, el sector Energía agrupa todas las emisiones por combustión de combustibles (tanto en fuentes fijas como en transporte); sin embargo, para fines de claridad en el ámbito local se separan aquí las emisiones de Transporte de las de Energía estacionaria, tal como sugiere el protocolo GPC. Del mismo modo, las emisiones de Procesos Industriales y de Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de Suelo (AFOLU) se contabilizan cuando corresponden, siguiendo las categorías definidas por IPCC/MMA.

5.2. ESTIMACIONES DE EMISIONES GEI POR SECTOR

A continuación se presentan las emisiones anuales estimadas de GEI de Santa María desagregadas por sector para el año base seleccionado (último año con datos completos disponibles). Todas las cifras se expresan en toneladas de CO2 equivalente (tCO2e). Los sectores considerados incluyen: Transporte, Energía (estacionaria), Residuos, Procesos Industriales (IPPU) y Agricultura/Usos de Suelo (incluyendo cambio de uso de suelo).

• Energía estacionaria: Corresponde a la quema de combustibles fósiles y consumo de energía eléctrica en el sector residencial, comercial, publico y pequeñas industrias locales. En Santa María, este sector emitió aproximadamente 15.300 tCO2e en el año base. La mayor parte proviene del consumo de electricidad y combustibles para calefacción y cocción en hogares, además de combustibles utilizados en maquinaria estacionaria y generadores. Se emplearon datos de consumo eléctrico comunal (en MWh) y ventas locales de combustibles (gas licuado, parafina, leña, etc.) proporcionados por la SEC, ENAP y otras fuentes oficiales, junto con factores de emisión estándar del IPCC 2006 y factores de emisión del Sistema Eléctrico Nacional de Chile. Este sector es uno de los principales contribuyentes de GEI a nivel local, representando alrededor de la mitad de las emisiones comunales (ver Figura 4.1 más adelante).

• Transporte: Incluye las emisiones por combustión de gasolina, diésel y otros combustibles en el transporte terrestre dentro de la comuna (vehículos particulares, transporte publico, camiones, maquinaria móvil), así como cualquier contribución marginal de transporte no carretera (maquinaria agrícola móvil, etc.). En el inventario de Santa María, las emisiones del sector transporte se estiman en torno a 13.700 tCO2e anuales. Este valor abarca principalmente el transporte vehicular por carretera, dado que la comuna carece de emisiones significativas de transporte aéreo, marítimo o ferroviario. Para el cálculo se utilizaron datos del parque vehicular comunal

(registro de vehículos motorizados) y volúmenes de venta de combustibles en la comuna (distribuidoras de gasolina y diésel), aplicando factores de emisión por tipo de combustible y tipo de vehículo según el IPCC 2006. El transporte es el otro gran aporte a las emisiones locales, con un peso cercano al 45% del total de GEI comunales. Cabe destacar que estas emisiones de transporte, además de contribuir al cambio climático, inciden en la calidad del aire local mediante la liberación de contaminantes criterio (NOx, material particulado, etc.), por lo que su reducción tendría cobeneficios ambientales locales.

• Residuos: Considera las emisiones derivadas de la gestión de residuos sólidos y líquidos. Para residuos sólidos municipales, se incluyen las emisiones de metano generadas por la disposición final de los desechos domiciliarios de Santa María. La comuna no cuenta con un relleno sanitario propio; sus residuos son transportados a instalaciones regionales fuera del límite comunal. Siguiendo las guías GPC, se ha contabilizado de forma informativa la huella de carbono de los residuos generados por la comuna aunque su disposición sea externa. Se estimó que los residuos sólidos domiciliarios de Santa María generan del orden de 2.000– 3.000 tCO2e anuales, asumiendo una generación per cápita de residuos y factores de emisión de metano según IPCC (metodología de primera orden para degradación de residuos sólidos en rellenos). En cuanto a residuos líquidos (aguas servidas), las emisiones provienen del tratamiento y disposición de las aguas residuales domesticas (principalmente metano de sistemas sépticos o lagunas de estabilización, y nitroso oxido por tratamiento biológico). En Santa María, donde una parte de la población urbana está conectada a alcantarillado con tratamiento secundario y el resto utiliza fosas sépticas, se calculó aproximadamente 100–200 tCO2e por año en emisiones de metano y N2O de aguas residuales, según metodologías IPCC 2006 para aguas residuales domesticas. En total, el sector Residuos constituye un porcentaje menor del inventario (<10% de las emisiones comunales). No obstante, es importante gestionarlo, ya que la captura de biogás en rellenos sanitarios o mejoras en tratamiento de aguas servidas podrían reducir estas emisiones y traer beneficios sanitarios locales.

• Procesos Industriales y Uso de Productos (IPPU): Este sector abarca emisiones no energéticas de procesos industriales (por ejemplo, procesos químicos, uso de cemento, liberación de gases refrigerantes, etc.). La comuna de Santa María no posee grandes instalaciones industriales; su economía es principalmente agrícola y de servicios. Por tanto, las emisiones

de procesos industriales se consideran nulas o insignificantes en el inventario (0 tCO2e). No se identificaron fuentes como fábricas de cemento, plantas químicas ni grandes consumos de HFCs en la comuna que ameriten un cálculo especifico. Cualquier emisión menor (por ejemplo, fugas de refrigerantes en equipos comerciales) es despreciada o contabilizada dentro del sector energía (como consumo de electricidad) por falta de datos específicos. Este resultado es consistente con comunas similares sin industria pesada, donde IPPU típicamente aporta 0–1% de las emisiones totales.

• Agricultura, Uso de Suelo y Cambio de Uso de Suelo: En el marco IPCC, este sector (a veces dividido en Agricultura y UTCUTS –Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura–) incluye emisiones biogénicas como el metano entérico del ganado, el oxido nitroso del manejo de suelos agrícolas, así como las emisiones o remociones de carbono por cambios en cobertura vegetal (deforestación, reforestación) y por la acumulación de carbono en biomasa y suelos. Para Santa María, la agricultura es una actividad relevante (principalmente cultivos y algo de ganadería menor), pero las emisiones agrícolas estimadas resultan relativamente bajas en términos de CO2e: se calculan aproximadamente 500–1.000 tCO2e anuales, provenientes principalmente de metano entérico de ganado bovino (el inventario considera los bovinos reportados en el último censo agropecuario) y de N2O por aplicación de fertilizantes nitrogenados en los suelos de cultivos. Estos cálculos se basan en factores IPCC por cabeza de ganado y por hectárea fertilizada. En cuanto al uso de suelo y silvicultura, la comuna no ha experimentado una deforestación significativa en los últimos años; por el contrario, mantiene áreas de bosque esclerófilo y matorral en zonas precordilleranas que actúan como sumideros de carbono. Según estimaciones nacionales regionalizadas, el sector USCUSS de Santa María podría estar secuestrando en el orden de 200–500 tCO2e anuales (por crecimiento forestal y regeneración natural) compensando parcialmente las emisiones de otros sectores. Sin embargo, no se ha incluido esta remoción en el total de emisiones inventariadas, conforme a la práctica de reportar por separado las absorciones forestales. En resumen, el aporte de la agricultura a las emisiones locales es pequeño (~2–3% del total), y el cambio de uso de suelo no genera actualmente emisiones significativas; más bien, el territorio rural de Santa María ofrece un ligero beneficio de captura de CO2 que no se considera en las emisiones brutas.

Tabla : Resumen de emisiones GEI de Santa María por sector (año base). Todas las cifras están expresadas en tCO2e por año. Se indican también las principales fuentes de datos utilizadas para cada estimación:

Sector	Emisiones (tCO_2e/año)	Principales fuentes de información
Energía estacionaria	15.300	Consumo eléctrico comunal (Empresa distribuidora), ventas de combustibles (SEC, ENAP), factores de emisión (IPCC 2006).
Transporte	13.700	Registro de vehículos (Municipalidad/INE), ventas locales de gasolina y diésel (ENAP), factores de emisión IPCC.
Residuos sólidos	~2.500	Tonelaje de residuos domiciliarios, modelo IPCC para rellenos sanitarios, tasa de captura de metano (Empresa gestora).
Residuos líquidos	~150	Datos de tratamiento de aguas servidas y fosas sépticas (SISS), factores de emisión IPCC para CH_4 y N_2O.
Procesos industriales (IPPU)	0	No existen fuentes industriales relevantes en la comuna.
Agricultura (ganadería y suelos)	~700	Censo agropecuario (ODEPA/MINAGRI), uso de suelo (CONAF), factores de emisión IPCC para metano y N_2O.
USCUSS (remociones)	-300 (remociones)	Estimación de captura de carbono en biomasa forestal (inventario CONAF, modelo de crecimiento, referencia regional).

Fuente: Elaboración propia con metodologías IPCC 2006 y lineamientos Huella Chile/MMA. Cifras aproximadas redondeadas; pueden variar en próximos inventarios según mejora de datos.

Como se aprecia, los sectores Energía estacionaria y Transporte dominan el perfil de emisiones de Santa María, seguidos por una contribución menor de Residuos y Agricultura, mientras que Procesos Industriales es virtualmente nulo. Las remociones forestales existen pero se presentan por separado y no se restan a las emisiones brutas (en concordancia con las directrices que sugieren reportar emisiones y absorciones por separado para mayor transparencia).

5.3. PROYECCIÓN DE EMISIONES AL AÑO 2030 (ESCENARIO TENDENCIAL)

Considerando las tendencias actuales y suponiendo un escenario tendencial (business-as-usual) sin intervenciones climáticas adicionales, se realizó una proyección preliminar de las emisiones de GEI de Santa María al año 2030. Esta proyección se basa en factores como el crecimiento poblacional, la evolución esperada de la actividad económica local, la motorización (vehículos per cápita) y cambios tecnológicos bajo las mismas políticas vigentes.

Según datos del INE, la población comunal ha mostrado un ligero crecimiento anual (se espera un aumento del ~1% anual en esta década). Si esa tendencia continúa, habrá más demanda energética residencial y de transporte. Asimismo, de no mediar mejoras en eficiencia, el consumo eléctrico y de combustibles fósiles crecería acorde a la población y al incremento en nivel de vida. Por otro lado, la flota vehicular podría expandirse más rápidamente que la población (tendencia observada nacionalmente), incrementando las emisiones de transporte si predominan vehículos a gasolina/diésel. Finalmente, en residuos, mayores habitantes implican más generación de basura y aguas servidas, aumentando proporcionalmente las emisiones de metano asociadas.

Bajo estos supuestos tendenciales, se proyecta que las emisiones totales de Santa María podrían alcanzar del orden de 35 mil tCO2e en 2030, lo que representa un incremento aproximado de 20–25% respecto al año base (~29 mil tCO2e). El sector Transporte sería el de mayor crecimiento relativo, dado el aumento esperado en vehículos particulares; sus emisiones podrían crecer en ~3% anual, acumulando ~30% más a 2030. El sector Energía estacionaria tendría un alza más moderada (posiblemente ~1–2% anual), ya que la mejora en eficiencia de artefactos y edificaciones podría contrarrestar parcialmente el mayor consumo. Aún así, para 2030 Energía seguiría siendo el mayor contribuyente, con alrededor de 18–20 mil tCO2e anuales. Las emisiones de Residuos crecerían proporcionalmente a la población (quizá ~10% acumulado a 2030), llegando a ~2.500–3.000 tCO2e entre sólidos y líquidos. Agricultura podría permanecer estable o ligeramente al alza si aumenta la actividad agropecuaria local, aunque no se prevén cambios dramáticos sin expansión de la frontera agrícola.

Es importante destacar que esta proyección no considera medidas de mitigación adicionales. En caso de implementarse acciones del PACCC (por ejemplo, recambio tecnológico, energías renovables, gestión de residuos, etc.), la trayectoria de emisiones podría desviarse significativamente a la baja respecto a este escenario base. Sin medidas, la tendencia al 2030 refleja la inercia del desarrollo comunal actual, con emisiones crecientes pero a un ritmo relativamente moderado (similar al crecimiento reciente a nivel regional, que fue ~4% de aumento entre 2020 y 2022). Este ejercicio de proyección al 2030 sirve como referencia para estimar el esfuerzo de reducción necesario si la comuna desea alinearse con las metas nacionales de mitigación y con un escenario de emisiones consistente con limitar el calentamiento global según el Acuerdo de París.

5.4. ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL LOCAL POR SECTOR

Además de su contribución al cambio climático global, las emisiones de GEI de cada sector en Santa María conllevan impactos ambientales locales que es importante considerar:

• Transporte: Las emisiones vehiculares, en especial de la flota diésel antigua, están asociadas a la liberación de contaminantes atmosféricos locales como material particulado (PM2.5/PM10), óxidos de nitrógeno (NOx) y ozono troposférico, que degradan la calidad del aire. Si bien Santa María no es una zona saturada, se han reportado episodios de quema de combustibles en motores que contribuyen a esmog en días fríos. La reducción de emisiones de CO2 mediante mejoras en el transporte (electrificación del transporte publico, vehículos de bajas emisiones, control de las emisiones de camiones que cruzan la comuna) tendría co-beneficios directos en salud pública, reduciendo enfermedades respiratorias vinculadas a la contaminación del aire. Asimismo, disminuir la quema de combustibles fósiles en transporte reduce la contaminación acústica y la dependencia energética de combustibles importados.

• Energía estacionaria: En el sector residencial de Santa María, una fracción importante de hogares utiliza leña para calefacción en invierno. La combustión de leña, si bien es considerada neutra en CO2 en el ciclo biológico, genera carbono negro (hollín) y partículas finas que afectan la calidad del aire local. Aunque el inventario de GEI cuenta sólo el CO2 fósil (por lo que la leña no aumenta las tCO2e, asumiendo sostenibilidad del recurso), su impacto ambiental local es negativo en términos de

contaminación por humo. Por otro lado, el consumo de electricidad (que en Chile aún proviene parcialmente de termoeléctricas a carbón/gas) implica emisiones en la generación centralizada; reducir la demanda mediante eficiencia o reemplazarla con energía solar distribuida disminuye la huella de CO2 y a la vez mejora la seguridad energética local. En edificios municipales y alumbrado publico, medidas de eficiencia energética reducen costos operativos y emisiones. En resumen, las acciones que disminuyen las emisiones de GEI en energía (aislación térmica de viviendas, recambio de estufas a leña por sistemas más limpios, instalación de paneles solares, etc.) también tienden a mejorar el confort térmico, la calidad del aire interior y exterior, y a generar ahorros económicos para las familias y el municipio.

• Residuos: Una gestión inadecuada de los residuos sólidos (ej. microbasurales, quema de basura al aire libre) puede liberar GEI (CO2 y CH4) pero sobre todo produce impactos locales: malos olores, proliferación de vectores sanitarios, contaminación de suelo y agua. Aunque las emisiones de metano de los residuos orgánicos en rellenos sanitarios representan un porcentaje modesto del inventario, su control mediante captura de biogás no solo reduce un potente GEI (CH4 tiene Potencial de Calentamiento ~28 veces el CO2) sino que permite generar energía renovable (electricidad o calor a partir del biogás) y minimizar riesgos de explosiones o olores. En el ámbito de residuos líquidos, mejorar el tratamiento de aguas servidas (pasar de fosas sépticas a planta de tratamiento, por ejemplo) reduce las emisiones de metano/nitroso pero principalmente mejora la salud de ecosistemas locales (ríos libres de contaminación, acuíferos sin infiltración de nitrógeno) y la calidad de vida de la población. Por tanto, iniciativas de compostaje, reciclaje y tratamiento avanzado de residuos que se promuevan para reducir GEI también conllevan comunidades más limpias y resilientes.

• Agricultura y suelo: Las prácticas agrícolas sostenibles pueden influir en las emisiones de GEI. Por ejemplo, una gestión eficiente del estiércol de animales (compostaje en vez de disposición anaeróbica) reduce emisiones de metano y genera abono orgánico, mejorando los suelos. El uso racional de fertilizantes nitrogenados (ajustar dosis, aplicar inhibidores de nitrificación) disminuye las emisiones de N2O y evita la contaminación por nitratos en aguas subterráneas. La protección de bosques y la reforestación en cerros de Santa María aumenta la captura local de CO2 (sumideros) y al mismo tiempo previene la erosión del suelo, regula el microclima y conserva la biodiversidad. Así, las acciones en el sector AFOLU orientadas a mitigar GEI (ganadería sostenible, forestación, agroforestería) traen aparejados

beneficios como suelo más fértil, agua más limpia y paisajes más verdes, alineando la agenda climática con el desarrollo rural sostenible.

En síntesis, abordar las emisiones de GEI sectoriales no solo contribuye al compromiso global de la comuna frente al cambio climático, sino que genera externalidades positivas locales: aire más limpio, entornos saludables, producción más eficiente y comunidades más resilientes. Este análisis refuerza la importancia de integrar las políticas climáticas con las ambientales y de desarrollo comunal.

5.5. CONCLUSIONES DEL INVENTARIO GEI COMUNAL

El Inventario de GEI de Santa María proporciona una base científica para orientar las acciones del Plan de Acción Comunal de Cambio climático (PACCC). A modo de resumen, las conclusiones más relevantes de este capítulo son:

- Sectores críticos: Los sectores de Energía estacionaria y Transporte son los principales responsables de las emisiones comunales, sumando cerca del 90% de las emisiones de GEI. Por lo tanto, las medidas de mitigación deberán focalizarse prioritariamente en estos ámbitos (ej.: eficiencia energética, energías limpias, transporte sustentable).
- Sectores secundarios: El aporte de Residuos y Agricultura al inventario, aunque menor, no es despreciable. Existe un potencial de reducción de emisiones a través de una mejor gestión de residuos (captura de metano, reciclaje, compostaje) y de prácticas agropecuarias sostenibles. El sector Procesos Industriales no tiene incidencia en Santa María por la ausencia de grandes industrias.
- Remociones de CO2: Los ecosistemas locales (bosques y vegetación nativa) cumplen una función de sumidero de carbono, capturando CO2 atmosférico. Si bien estas remociones no se contabilizan dentro de las emisiones brutas, su protección y aumento (reforestación) podría compensar una fracción de las emisiones comunales en el futuro , además de aportar múltiples beneficios ecosistémicos.
- Comparación regional: Santa María presenta bajas emisiones absolutas y per cápita en el contexto regional, lo que es esperable dado su perfil rural-residencial. No obstante, al igual que muchas comunas, comparte la tendencia general de depender fuertemente de combustibles fósiles en energía y transporte. En el promedio regional Valparaíso, el sector energía (incluyendo transporte) constituye ~79% de las emisiones , cifra similar a la

de Santa María. Esto evidencia un patrón común a abordar a nivel territorial más amplio (provincial/ regional).

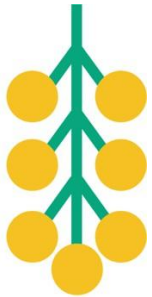
- Tendencia a 2030: De no aplicarse medidas de mitigación, las emisiones comunales podrían seguir en aumento moderado (alrededor de 2–3% anual compuesto), alcanzando ~35 ktCO2e en 2030 bajo un escenario tendencial. Este incremento, aunque menor en términos absolutos, iría en sentido opuesto a las metas nacionales de reducciones de GEI. Por ende, el PACCC deberá impulsar medidas que reviertan la curva de emisiones, aspirando idealmente a un peak y posterior descenso antes de 2030, en línea con las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC) de Chile.
- Rigor técnico y mejoras futuras: El inventario fue elaborado con las mejores herramientas disponibles (IPCC 2006, GPC, factores localizados) y fuentes oficiales, asegurando confiabilidad. No obstante, existen incertidumbres en algunos datos (p.ej., uso de leña no reportado formalmente, emisiones de fosas sépticas, fertilizaciones) que se planea refinar en futuros inventarios. Se recomienda implementar un sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) a nivel comunal para actualizar el inventario periódicamente (cada 2 años, por ejemplo), incorporando mejoras en la recopilación de datos locales y siguiendo la evolución metodológica que dicte el IPCC y el MMA [23] .

En conclusión, el Inventario de GEI de Santa María establece la línea base desde la cual la comuna podrá medir sus avances en mitigación. Identifica claramente que el desafío mayor está en reducir la dependencia de combustibles fósiles en energía y transporte, sin descuidar las oportunidades de mejora en residuos y agricultura. Las cifras aquí presentadas –respaldadas por metodologías internacionales y fuentes oficiales chilenas (IPCC, MMA, Huella Chile)– servirán para justificar y priorizar las medidas concretas del PACCC, asegurando que las acciones se orienten donde tendrán mayor impacto tanto en la reducción de GEI como en beneficios ambientales locales.

CAPÍTULO 6

TALLER PARTICIPATIVO , VISIÓN ESTRATÉGICA COMUNAL Y ÁREAS PRIORITARIAS





6.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TALLER

El **19 de abril de 2025** se realizó un taller participativo en la Biblioteca Municipal Gabriela Mistral de la comuna de Santa María. En esta instancia, actores locales clave – organizaciones comunitarias medioambientales, encargados de gestión de emergencias, funcionarios municipales y representantes del sector turismo y medio ambiente – se reunieron para aportar a la elaboración del Plan de Acción Comunal de Cambio Climático (PACCC). Siguiendo la metodología propuesta por el *Manual CR2* para talleres climáticos, los participantes trabajaron agrupados en **dos mesas temáticas**, Cada grupo realizó un diagnóstico participativo de la comuna, contribuyó a una visión estratégica común y **priorizó medidas** de adaptación y mitigación a implementar localmente.

Durante el taller, se fomentó la **participación activa** a través de dinámicas colaborativas. Por ejemplo, los asistentes identificaron en mapas los sectores más expuestos a amenazas climáticas (sequías, inundaciones, incendios, etc.), incorporando sus experiencias territoriales. Asimismo, discutieron las principales **fuentes de emisiones** de la comuna, considerando datos del inventario local de GEI. Esta información sirvió de base para definir una **visión estratégica integrada** y un conjunto de **medidas prioritarias**, descritas a continuación.

6.2. VISIÓN ESTRATÉGICA INTEGRADA DE SANTA MARÍA

Como resultado del trabajo en grupo, el taller formuló una Visión Estratégica Integrada (VEI) para la comuna de Santa María, alineada con sus desafíos locales de adaptación y mitigación. La visión consensuada apunta a transformar Santa María en una comunidad resiliente y sostenible frente al cambio climático, capaz de reducir sus emisiones de GEI y de adaptarse a las amenazas climáticas más apremiantes. En concreto, la comuna buscará disminuir sus emisiones en torno a un 25% hacia 2035 y alcanzar un 70% al 2050 mediante acciones locales, a la vez que fortalecerá su capacidad adaptativa ante riesgos como la sequía, la contaminación atmosférica y el aumento de temperatura. Esta visión integrada enfatiza la protección de la comunidad y del patrimonio natural, promoviendo una cultura de educación ambiental y prevención de desastres, todo con miras a asegurar el bienestar de las presentes y futuras generaciones. La visión climática se articula con la estrategia de desarrollo comunal vigente (PLADECO 2024–2028), y la ley Marco de Cambio Climatico , de modo que las acciones climáticas

contribuyan al desarrollo sostenible local de forma coherente. En suma, Santa María se proyecta como modelo de comuna resiliente, comprometida con la reducción de emisiones y la adaptación proactiva, integrando criterios climáticos en su planificación y fomentando la participación de todos los actores en este esfuerzo común.

6.3. DIAGNÓSTICO DE RIESGOS CLIMÁTICOS Y FUENTES DE EMISIÓN

Durante el taller se realizó un diagnóstico participativo de los principales riesgos climáticos que enfrenta Santa María y de las fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) locales. Entre los hallazgos destacados:

- **AMENAZAS CLIMÁTICAS PRINCIPALES:** Los participantes identificaron la sequía hídrica (precipitaciones cada vez más escasas) y la contaminación ambiental como las amenazas más urgentes. Estas tendencias se han manifestado en la comuna con una reducción de lluvias y disponibilidad de agua durante la última década de megasequía, afectando especialmente al sector agrícola. También se mencionaron problemas asociados como la sobreexplotación de napas subterráneas, la contaminación de suelos y aguas por agroquímicos, y conflictos por el uso del agua en temporadas de escasez. En términos de impactos locales, se observan disminución de rendimientos agrícolas, estrés en la vegetación nativa y riesgos para la salud humana en zonas rurales por falta de agua potable segura.

- **SECTORES VULNERABLES:** Los sectores de Recursos Hídricos (agua potable, riego agrícola) y Biodiversidad/Ecosistemas fueron priorizados por su alta sensibilidad al clima. Por ejemplo, se discutió que la agricultura familiar y de exportación en Santa María es muy vulnerable a sequías, heladas tardías y olas de calor, requiriendo nuevas variedades y tecnologías de riego para adaptarse. Asimismo, los ecosistemas locales de alto valor (como el Santuario de la Naturaleza El Zaino – Laguna El Copín) enfrentan amenazas de sequía e incendios, por lo que proteger y restaurar estos ecosistemas se considera una estrategia clave de adaptación Otros sectores mencionados incluyen Salud humana (especialmente grupos vulnerables como adultos mayores rurales expuestos a olas de calor) y el sector Económico local (que depende fuertemente de la agricultura

y puede resentir pérdidas productivas por eventos climáticos extremos).

- **EMISIONES DE GEI LOCALES:** Si bien Santa María es una comuna pequeña sin gran industria, el grupo de mitigación identificó varias fuentes locales de emisiones. Las fuentes de energía y transporte destacan: el consumo de combustibles fósiles en vehículos y maquinarias agrícolas, así como la electricidad consumida en la comuna (generada en parte por termoeléctricas a nivel país) contribuyen a las emisiones. El manejo de residuos es otra fuente importante: los residuos orgánicos dispuestos en vertederos o basurales ilegales generan metano, por lo que mejorar la gestión de residuos (reciclaje, compostaje) podría reducir emisiones En el sector agropecuario, la ganadería local (principalmente crianzas de cabras y algunos bovinos) produce metano entérico, y ciertas prácticas agrícolas (quemas de rastrojos o uso de fertilizantes nitrogenados) aportan También se identificaron emisiones por biomasa (quema de leña para calefacción domiciliaria en invierno) y quemas agrícolas tradicionales, aunque estas son prácticas en disminución. En resumen, las principales fuentes a mitigar corresponden a energía/transporte, residuos y agro-ganadería, en línea con el objetivo global de transitar hacia un desarrollo comunal bajo en emisiones y resiliente.

6.4. ÁREAS PRIORITARIAS DEL TERRITORIO

En el diagnóstico territorial, los participantes delimitaron áreas geográficas prioritarias o de confluencia de problemas climáticos en la comuna (ver mapa más abajo). Se destacaron tres zonas principales:

- **ZONAS RURALES AGRÍCOLAS (NORTE Y SUR DE LA COMUNA**): Las localidades rurales al norte y sur de Santa María, especialmente aquellas a lo largo del río Aconcagua y sectores de secano, concentran actividades agrícolas intensivas. Ejemplos son **Santa Filomena, Lo Galdames, Las Cabras, Jahuelito, Tocornal,** entre otros. Estas áreas presentan alta concentración de agricultura (cultivos de exportación y agricultura familiar) y por tanto sufren la escasez hídrica con mayor severidad, además de problemas como el uso intensivo de agroquímicos (pesticidas, fertilizantes) y presencia de vertederos ilegales que contaminan suelos y aguas. La combinación de sobreuso del agua y contaminación agrícola hace a estos sectores un foco de

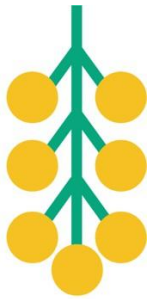
medidas tanto de adaptación (manejo eficiente del agua, protección de suelos) como de mitigación (reducción de emisiones en prácticas agrícolas).

- **VALLE DE JAHUEL**: La zona precordillerana de Jahuel, al oriente de la comuna, fue identificada como estratégica por su riqueza hídrica y ecológica. El valle de Jahuel (incluyendo localidades como **San José de Jahuel, Tabolango, El Zaino**) alberga importantes fuentes de agua (quebradas, esteros y acuíferos) que alimentan al río Aconcagua y a la comuna. Sin embargo, enfrenta presiones crecientes: se han detectado pozos de agua ilegales y extracción excesiva, monocultivos y uso de pesticidas en algunas zonas, además de riesgo de procesos industriales contaminantes futuros dada la expansión urbana. Esta área requiere especial atención en gestión del agua (protección de acuíferos, recarga artificial) y en conservación de su cobertura vegetal para evitar erosión y mantener servicios ecosistémicos.

- **SANTUARIO DE LA NATURALEZA EL ZAINO – LAGUNA EL COPÍN:** Este santuario, ubicado en la cuenca alta (valle de Jahuel), es un hotspot de biodiversidad reconocido a nivel nacional. Con ~6741 hectáreas de montaña, humedales y bosques esclerófilos, el santuario provee servicios ecosistémicos clave (regulación hídrica, provisión de agua, hábitat de flora y fauna endémica. Los participantes lo señalaron como prioridad para adaptación basada en ecosistemas: proteger y restaurar el santuario significa aumentar la resiliencia de la comuna (por ejemplo, bosques sanos regulan mejor el ciclo de agua, suelos con cobertura previenen aluviones. Las amenazas incluyen la sequía prolongada (que ha reducido lagunas y humedales), posibles incendios forestales en temporadas secas, y el turismo no regulado. Se enfatizó la necesidad de fortalecer la conservación del santuario (reforestación con especies nativas, control de incendios, turismo sostenible) como medida tanto adaptativa como de mitigación (sumidero de carbono).

CAPÍTULO 7: MEDIDAS DE ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN





7.1. INTRODUCCIÓN: ADAPTACIÓN VS MITIGACIÓN

La mitigación climática busca reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, es decir, atacar las causas del cambio climático. Por el contrario, la adaptación climática se orienta a disminuir la vulnerabilidad de personas, ecosistemas y sectores productivos frente a los impactos esperados (sequías, inundaciones, olas de calor, etc.), limitando sus daños y fortaleciendo la resiliencia. Ambas estrategias son complementarias: sin mitigación creciente la capacidad de adaptación será insuficiente, y sin adaptación baja en carbono se profundiza el problema mismo que se pretende mitigar.

Por ejemplo, una medida de mitigación podría ser instalar paneles solares o mejorar la eficiencia energética de edificios (reduce emisiones GEI), mientras que una medida de adaptación podría ser construir embalses o sistemas de recolección de agua de lluvia (aumenta la disponibilidad hídrica y reduce vulnerabilidad frente a sequías). En el contexto local, la Ley Marco de Cambio Climático obliga a los municipios a formular planes comunales (PACCC) con metas y medidas concretas en ambos ejes. Santa María ha identificado sus riesgos y fuentes de emisión clave mediante un taller participativo (abril 2025). A continuación se presentan las medidas priorizadas por la comunidad, clasificadas por sector y tipo.

7.2. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN PRIORITARIAS

Las medidas de adaptación buscan reducir la vulnerabilidad de Santa María frente a los impactos climáticos proyectados (escasez hídrica, olas de calor, incendios, etc.) y fortalecer la resiliencia de la comunidad y sus ecosistemas. Cada medida priorizada se describe a continuación:

A1. REUTILIZACIÓN DE AGUAS Y DESARROLLO DE INFRAESTRUCTURA VERDE

Objetivo: Aumentar la disponibilidad hídrica local y la resiliencia al estrés hídrico mediante la reutilización de aguas grises y lluvias a nivel domiciliario y comunitario, destinándolas al riego de áreas verdes e infraestructura verde (jardines infiltrantes, plazas húmedas, arborización), reduciendo el consumo de agua potable en riego.

Actividades específicas: Implementar sistemas de recolección de aguas lluvias en viviendas y edificios públicos (canales de techo a estanques);

promover e instalar sistemas domésticos simples de tratamiento y reuso de aguas grises (lavatorios, duchas) para riego; construir áreas verdes resilientes (jardines con especies nativas/xerófitas) que utilicen las aguas recolectadas; capacitar a vecinos en instalación y mantención de estos sistemas; desarrollar un plan piloto de infraestructura verde urbana (pavimentos permeables, zanjas de infiltración) para mejorar la infiltración de agua de lluvia en sectores críticos.

Instituciones responsables Dirección de Obras Municipales y Dirección de Medio Ambiente liderarán la planificación técnica; el Comité Ambiental Comunal apoyará en difusión. **Comunitarios:** Juntas de vecinos y comités de agua potable rural participarán en la identificación de viviendas y espacios aptos, facilitando la adopción por parte de las familias beneficiarias.

Recursos Financieros: Fondos para subsidios de instalación de sistemas de recolección (ej., compra de estanques, canaletas, filtros) y construcción de infraestructura verde. **Humanos:** Profesionales en hidráulica, constructores, monitores ambientales para capacitaciones comunitarias. **Técnicos:** Equipos de plomería, kits de cosecha de lluvia, materiales para biofiltros de aguas grises; diseño técnico de obras verdes.

Posibles fuentes de financiamiento: Programa de eficiencia hídrica de SUBDERE o del Gobierno Regional (GORE), FNDR para proyectos de resiliencia hídrica, Fondos de Protección Ambiental (FPA) del MMA para iniciativas comunitarias, y aportes municipales en cofinanciamiento.

Plazos de ejecución: Corto plazo (1–2 años) para diseñar el programa piloto e instalar sistemas en edificios públicos y primeras 50 viviendas; Mediano plazo (3–5 años) para masificar la adopción en barrios prioritarios e incorporar infraestructura verde en nuevos proyectos urbanos.

A2. GESTIÓN HÍDRICA SOSTENIBLE Y RECARGA DE ACUÍFEROS

Objetivo: Garantizar la seguridad hídrica comunal a largo plazo mediante una gestión integrada del agua, incluyendo eficiencia en usos productivos, mejora de infraestructura hídrica y acciones de recarga artificial de acuíferos, preparándose para escenarios de sequía prolongada.

Actividades específicas: Establecer **alianzas público-privadas para implementar el "Certificado Azul"** de la Agencia de Sustentabilidad y

Cambio Climático (ASCC) con empresas agrícolas e industriales locales, incentivándolas a medir y reducir su huella de agua, mejorar la infraestructura de riego y agua potable rural (reducción de pérdidas en canales y redes APR); identificar zonas aptas para proyectos de recarga artificial del acuífero (por ejemplo, construcción de pozas de infiltración o inyección de aguas tratadas en napas subterráneas); gestionar la protección y restauración de humedales y vegas altoandinas que actúan como áreas naturales de recarga; implementar un monitoreo participativo de la calidad y nivel de aguas del río Aconcagua y esteros (con apoyo de comunidad educativa); y elaborar una **Estrategia Hídrica Local (EHL)** que articule todas estas acciones bajo un plan coherente.

Instituciones responsables: Dirección de Obras Hidráulicas y Unidad de Recursos Hídricos municipal (si existe, o DIMAO) para coordinar obras e inversiones; coordinación con DIR. General de Aguas (DGA) y Departamento de Agua Potable Rural. **Comunitarios:** Organizaciones de regantes, agricultores locales y APR, integrados en una Mesa Hídrica Comunal que participe en la planificación y seguimiento de estas iniciativas.

Recursos Financieros: Capital para obras de infraestructura (revestimiento de canales, construcción de pozas de infiltración); fondos para estudios hidrogeológicos. **Humanos:** Hidrólogos, ingenieros civiles y agrícolas, facilitadores para la mesa hídrica. **Técnicos:** Estudios de cuenca, tecnología de medición de caudales y nivel freático, equipamiento para monitoreo de calidad (kits, laboratorios móviles).

Posibles fuentes de financiamiento: FNDR regional en proyectos de riego tecnificado y mejoramiento de canales; Comisión Nacional de Riego (CNR) (concursos de tecnificación y acumulación de aguas); programas de SUBDERE en seguridad hídrica; fondos internacionales climáticos orientados a adaptación hídrica; inversión sectorial de MOP para obras de recarga.

Plazos de ejecución: Mediano plazo (3–5 años) para implementar mejoras de infraestructura y los primeros pilotos de recarga artificial; Largo plazo (6+ años) para consolidar la estrategia hídrica comunal, con reducciones sostenidas en extracciones y acuíferos estabilizados. **(Algunas acciones, como el Monitoreo participativo, comenzarían en corto plazo como base para el resto.)**

A3. PROTECCIÓN Y RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS VULNERABLES

Objetivo: Conservar y recuperar los ecosistemas críticos de Santa María – especialmente el **Santuario de la Naturaleza "El Zaino – Copín"**, las riberas del río Aconcagua y los humedales locales – para preservar sus servicios ecosistémicos (regulación hídrica, biodiversidad, control de crecidas) y aumentar su resiliencia al cambio climático.

Actividades específicas: Desarrollar un Programa de restauración ecológica en el Santuario El Zaino y áreas aledañas, incluyendo reforestación con especies nativas, control de especies invasoras y recuperación de suelos erosionados; ejecutar proyectos de limpieza, reforestación y estabilización de las riberas del río Aconcagua y sus afluentes (e.g. revegetación con vegetación ribereña para prevenir socavamiento e implementar **corredores biológicos** continuos a lo largo del río); proteger y rehabilitar humedales comunales (identificando y declarando oficialmente humedales urbanos bajo la Ley 21.202, si corresponde); promover la creación de un área protegida intercomunal en el piedemonte de la comuna (en coordinación con comunas vecinas) para resguardar bosques esclerófilos y matorrales altoandinos, estableciendo acuerdos de conservación voluntaria con propietarios; e implementar un **sistema comunitario de monitoreo de biodiversidad**, donde vecinos, estudiantes y científicos ciudadanos registren la flora y fauna local para evaluar cambios y alertar sobre pérdidas de biodiversidad.

Instituciones responsables: Dirección de Medio Ambiente comunal (DIMAO) como ente coordinador; CONAF y Ministerio del Medio Ambiente asesorando técnicamente en restauración y declaratorias de protección; oficinas de planificación territorial facilitando la incorporación de estas áreas en el uso de suelo. **Comunitarios:** Agrupaciones ambientales locales (ej. comités ambientales, grupos de senderismo), juntas de vecinos rurales y comunidades agrícolas, involucrados como guardaparques honorarios, brigadistas de restauración y monitores de biodiversidad.

Recursos Financieros: Fondos para adquisición de plantas nativas, cercado de áreas de restauración, contratación de cuadrillas locales; recursos para compensaciones en caso de restricciones de uso de suelo a privados. **Humanos:** Ecólogos, agrónomos, guardaparques, cuadrillas de trabajadores locales capacitados en viverización y plantaciones; educadores ambientales para trabajar con la comunidad. **Técnicos:** Viveros locales de especies

nativas; herramientas para plantación y control de erosión; sistemas de georreferencia para monitoreo de flora y fauna (apps de ciencia ciudadana).

Posibles fuentes de financiamiento: Fondos de restauración ecológica del Ministerio de Medio Ambiente; iniciativas GEF pequeñas donaciones en biodiversidad; Gobierno Regional (GORE) vía programas de conservación de cuencas; convenios con universidades o ONGs ambientales; aportes de empresas locales bajo programas de responsabilidad social (compensaciones ambientales).
Plazos de ejecución: Mediano plazo (3–5 años) para ejecutar las principales acciones de restauración (plantaciones, limpiezas) y establecer la figura de protección intercomunal; Largo plazo (6+ años) para el mantenimiento y monitoreo continuo de las áreas restauradas, con evaluaciones periódicas de recuperación ecológica. **(Muchas acciones de conservación requerirán continuidad más allá de 6 años, con metas intermedias quinquenales.)**

A4. INCREMENTO DE LA COBERTURA ARBÓREA CON ESPECIES NATIVAS Y DE BAJO CONSUMO HÍDRICO

Objetivo: Aumentar la cobertura arbórea en la comuna tanto en áreas urbanas (plazas, calles, escuelas) como en sectores rurales habitados usando especies nativas y xerófitas (adaptadas a la sequía), con el fin de reducir la temperatura urbana (mitigación de **islas de calor**), mejorar la calidad del aire y capturar CO_2 atmosférico.

Actividades específicas: Implementar un programa de arborización comunitaria enfocado en especies nativas de la zona central (ej. quillayes, espinos, algarrobos) y árboles de bajo requerimiento hídrico; realizar campañas estacionales de plantación participativa (“un vecino, un árbol”) en barrios urbanos (priorizando sectores con déficit de sombra) y localidades rurales (entregando árboles para predios); establecer **corredores verdes** en torno a caminos rurales y canales, conectando fragmentos de vegetación para beneficio ecosistémico; crear un vivero municipal o comunitario para producir las plantas nativas requeridas, generando empleo local verde; y asegurar el cuidado posterior de los árboles plantados mediante cuadrillas municipales de riego de apoyo y la capacitación de la comunidad en su mantención. Además, incorporar lineamientos de paisajismo urbano climático en nuevas obras (ej. que cada nuevo proyecto de pavimentación contemple arbolado asociado).

Instituciones responsables: Departamento de Medio Ambiente y Dirección de Aseo y Ornato, para gestionar el vivero, insumos y manejo de arbolado urbano; apoyo de CONAF (programa de arborización urbana "Un millón de árboles") con provisión de plantas y asesoría técnica. **Comunitarios:** Juntas de vecinos, centros de madres, clubes deportivos y escuelas, organizando y participando en jornadas de plantación; voluntarios ambientales encargados de apadrinar árboles en sus cuadras.

Recursos Financieros: Presupuesto para equipar el vivero (sombreaderos, sustratos) y comprar plantines iniciales; recursos para herramientas de plantación (palas, picotas) y riego (mangueras, estanques móviles). **Humanos:** Ingeniero forestal o agrónomo forestal dirigiendo el vivero; monitores comunitarios; personal de ornato para riego de apoyo en verano. **Técnicos:** Especies nativas adecuadas (provenientes de viveros de CONAF o privados locales mientras se implementa el vivero comunal); camión aljibe para riegos de establecimiento; sistema de monitoreo georreferenciado del arbolado nuevo (censo de árboles plantados).

Posibles fuentes de financiamiento: Programa "Chile Siembra Árboles" de CONAF; convenios con Fundación Reforestemos u otras ONGs; Subvenciones del GORE para áreas verdes; aportes de empresas a cambio de créditos de carbono locales (voluntarios) dado que la reforestación ayuda a la captura de CO_2

Plazos de ejecución: Corto plazo (1–2 años) para instalar el vivero comunal y realizar las primeras campañas masivas de plantación (meta inicial, por ejemplo, 1.000 árboles plantados el primer año); Mediano plazo (3–5 años) para lograr coberturas arbóreas significativas en barrios críticos (aumentar, por ejemplo, 20% la cobertura de sombra en plazas para 2028); Largo plazo (6+ años) para mantenimiento y alcance de madurez de los árboles, con reevaluación de microclima urbano y captura de carbono lograda.

A5. PROGRAMA DE EDUCACIÓN Y SENSIBILIZACIÓN CLIMÁTICA

Objetivo: Fomentar una ciudadanía informada y comprometida con la acción climática, a través de la educación ambiental y climática transversal – con enfoque en uso responsable del agua, eficiencia energética, reducción de residuos y prevención de riesgos climáticos – logrando cambios de comportamiento y una mayor participación comunitaria en las iniciativas del PACCC.

Actividades específicas: Diseñar un programa educativo socioambiental comunal que incluya talleres periódicos en juntas de vecinos, escuelas y organizaciones sociales sobre temas como ahorro de agua en el hogar, agricultura sostenible, reciclaje/compostaje y preparación ante emergencias climáticas; realizar campañas de sensibilización masiva (radiales, redes sociales, ferias locales) durante hitos como el Día Mundial del Agua o el Día del Árbol, adaptando los mensajes a público urbano y rural; implementar **jornadas de interpretación ambiental** en terreno (ej. caminatas guiadas al Santuario El Zaino o visitas a parcelas agroecológicas) para reconectar a la comunidad con su entorno natural y evidenciar impactos del cambio climático; desarrollar material didáctico local (guías, folletos, cápsulas audiovisuales) con lenguaje accesible sobre cambio climático, enfatizando qué puede hacer cada persona/familia; y conformar una Red de Monitores Climáticos Comunitarios (líderes vecinales capacitados) que multipliquen estos conocimientos en sus sectores.

Instituciones responsables: Dirección de Medio Ambiente en conjunto con DAEM (educación municipal) para insertar contenidos en escuelas; Oficina de Organizaciones Comunitarias facilitando la convocatoria a talleres; apoyo de la SEREMI del Medio Ambiente con materiales de sus programas de educación ambiental. **Comunitarios:** Profesores, líderes juveniles, dirigentes sociales y miembros del Comité Ambiental Comunal, todos integrados como monitores y difusores locales.

Recursos Financieros: Modesto presupuesto anual para impresos, materiales de talleres, traslados para salidas a terreno y pequeños incentivos a monitores (por ejemplo, becas de capacitación). **Humanos:** Profesionales o técnicos en educación ambiental para coordinar el programa; relatores expertos invitados (por ejemplo, de servicios públicos) según temática; voluntarios locales formados como monitores. **Técnicos:** Material pedagógico adaptado (infografías sobre huella hídrica, guías de eficiencia energética doméstica, etc.); acceso a salas y equipos audiovisuales para talleres.

Posibles fuentes de financiamiento: Fondos de Educación Ambiental del MMA; convenios con programas de educación de ONGs (p.ej. Fundación Tierra Viva, WWF Chile); presupuestos participativos municipales destinados a iniciativas educativas; eventualmente patrocinio de empresas locales interesadas en campañas específicas (responsabilidad social).

Plazos de ejecución: Corto plazo (1-2 años) para implementar el programa piloto (al menos 4 talleres temáticos, 2 salidas a terreno y la formación de la primera generación de 10 monitores climáticos); Mediano plazo (3-5 años) para consolidar el programa integrándolo en la educación formal (contenidos climáticos en curriculum local) y alcanzar cobertura comunal (todas las localidades con actividades anuales); Largo plazo (6+ años) para sostener estas instancias de educación continua, actualizando contenidos según nuevos desafíos y evaluando su impacto en las prácticas ciudadanas.

A6. SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA Y RESPUESTA ANTE EMERGENCIAS CLIMÁTICAS

Objetivo: Reducir el impacto de eventos climáticos extremos en la comuna (aluviones, inundaciones, olas de calor, olas de frío, etc.) mediante la implementación de sistemas de alerta temprana locales y planes de respuesta rápida comunitarios, centrados en las personas más vulnerables, siguiendo un enfoque preventivo de gestión de riesgos.

Actividades específicas: Desarrollar un Plan Local de Alerta Temprana Multi-riesgo, en coordinación con ONEMI y sistemas nacionales, que defina protocolos claros para amenazas climáticas (ej. umbrales de lluvia para activar alerta de crecidas del río, alertas de temperatura extrema para salud pública); establecer canales de comunicación de emergencia eficientes sirenas o altavoces comunitarios en sectores rurales para alertar evacuaciones, grupos de WhatsApp por sector, y mensajería radial local adaptados a las necesidades y particularidades socioculturales de cada localidad (incluyendo lenguaje simple y accesible; conformar brigadas comunitarias de respuesta rápida entrenadas en primeros auxilios, evacuación y manejo inicial de incidentes, aprovechando organizaciones existentes (Bomberos, equipos de salud, juntas de vecinos) para llegar pronto tras un evento; realizar simulacros anuales de emergencia por tipo de riesgo (simulacro de inundación en zonas bajas, simulacro de ola de calor prolongada con habilitación de refugios climáticos, etc.); y asegurar la integración de género, edad y discapacidad en el sistema – por ejemplo, implementando un registro de personas mayores o con discapacidad que requieran asistencia especial durante emergencias, y promoviendo la participación y liderazgo de mujeres en las comisiones de protección civil, dado que la experiencia muestra que el empoderamiento de las mujeres mejora la eficacia en la gestión del riesgo de desastre.

Instituciones responsables: Dirección de Seguridad Pública comunal o Protección Civil (si existe) para liderar la implementación del sistema; oficina comunal de emergencia coordinando con ONEMI regional; Centros de Salud Familiar (CESFAM) incorporando alertas sanitarias por golpes de calor u otras contingencias de salud climática. **Comunitarios:** Cuerpo de Bomberos de Santa María, voluntarios de la Cruz Roja local, dirigentes vecinales y comités de emergencia vecinales conformados, todos actuando en red en las brigadas de respuesta y difusión de alertas.

Recursos Financieros: Inversión en tecnología de alertamiento (sirenas, radios de emergencia, app móvil local si aplicable); fondos para capacitaciones y simulacros (materiales, logística). **Humanos:** Expertos en gestión de riesgos para elaborar el plan; capacitadores en primeros auxilios y gestión de albergues; personal municipal dedicado a vigilancia meteorológica local (podría ser reforzando la unidad de emergencias). **Técnicos:** Equipos meteorológicos básicos locales (pluviómetros en cuenca alta, termómetros urbanos) para alimentar el sistema; vehículos o motos para aviso en terreno en áreas sin conectividad; infraestructura identificada para usar como albergues temporales (escuelas, sedes).

Posibles fuentes de financiamiento: ONEMI (proyectos FNDR de reducción de riesgo); Gobierno Regional (fondos de seguridad pública orientados a emergencias); convenios con Minsal para componentes de salud en olas de calor; programas internacionales (por ejemplo, Cruz Roja Internacional apoya sistemas comunitarios de alerta).

Plazos de ejecución: Corto plazo (1–2 años) para diseñar y socializar el plan de alerta temprana, y montar los primeros pilotos de sistema de aviso (por ejemplo, sirenas en 2 sectores de mayor riesgo, simulacros iniciales); Mediano plazo (3–5 años) para ampliar la cobertura del sistema a toda la comuna y afinar protocolos con base en lecciones de eventos/simulacros; Largo plazo (6+ años) para mantenimiento continuo y actualizaciones tecnológicas del sistema, con evaluaciones post-evento que retroalimenten mejoras.

A7. PLAN DE PREVENCIÓN Y MANEJO DE INCENDIOS FORESTALES

Objetivo: Disminuir la ocurrencia e impacto de incendios forestales en Santa María riesgo creciente por sequías y calor mediante acciones preventivas en terreno y fortalecimiento de la capacidad de respuesta temprana, protegiendo así vidas, viviendas, cultivos y áreas naturales.

Actividades específicas: Identificar zonas de interfaz urbano-rural críticas y ejecutar cortafuegos y manejo de combustible (desmalezado, poda de arbustos) previo a cada temporada seca; implementar un sistema de detección temprana de incendios con apoyo comunitario, por ejemplo a través de vigías locales en puntos altos durante el verano y uso de alertas vía radios o aplicaciones cuando vean humo; dotar a Bomberos y brigadas de **equipamiento básico de ataque inicial** (mochilas de agua, herramientas manuales tipo **Pulaski**, motosierra) en sectores rurales para que comunidades puedan contener conatos mientras llega CONAF/Bomberos; hacer campañas de concientización en comunidades agrícolas sobre quema controlada de rastrojos (capacitación y fiscalización para evitar quemas ilegales en épocas de riesgo); coordinar simulacros específicos de evacuación por incendio forestal en aldeas rurales rodeadas de vegetación; y conformar Comités Locales de Prevención de Incendios con participación de vecinos, que operen en verano difundiendo niveles de alerta (peligro alto, extremo) y recomendaciones (ej. prohibición de encender fogatas).

Instituciones responsables: Oficina comunal de emergencias en conjunto con CONAF (Programa Manejo del Fuego) para planificar cortafuegos y capacitación; apoyo de Carabineros en labores de vigilancia y control de quemas; Municipalidad gestionando equipamiento a través de proyectos y coordinando con Bomberos. **Comunitarios:** Cuerpo de Bomberos local liderando la respuesta a incendios; vecinos voluntarios de sectores rurales integrados a brigadas comunitarias de primera respuesta; juntas de vigilancia rural aportando en detección y aviso.

Recursos Financieros: Presupuesto para maquinaria (tractor o equipo de arrastre) y combustible en apertura de cortafuegos; fondos para equipamiento de brigadistas comunitarios; recursos para material de difusión (volantes sobre prevención, señaléticas de “peligro de incendio” en cerros). **Humanos:** Personal municipal y de CONAF para limpieza de fajas; técnicos forestales asesorando prácticas de **Quema prescrita** segura cuando sea necesario; voluntarios capacitados. **Técnicos:** Mapas de riesgo de

incendio identificando viviendas expuestas; herramientas manuales (palas, batefuegos) en puestos estratégicos; radio-comunicadores de largo alcance en comunidades sin señal celular para reportes de humo.

Posibles fuentes de financiamiento: Subvenciones de CONAF para prevención de incendios (cortafuegos comunitarios); Gobierno Regional (fondos de emergencia para equipamiento Bomberos); convenios con ONGs ambientales enfocadas en incendios (ej. iniciativas de **Firewise** o similares adaptadas localmente).

Plazos de ejecución: Corto plazo (1–2 años) para las medidas preventivas urgentes (establecer cortafuegos en sectores de mayor recurrencia y dotar equipamiento básico a brigadas locales antes de próximas temporadas secas); Mediano plazo (3–5 años) para consolidar la red de vigilancia y responder con eficacia (<10 min de detección a aviso) – meta podría ser reducir en 50% el área promedio quemada por incendio hacia 2028; Largo plazo (6+ años) para mantener la cultura preventiva y resiliente al fuego, actualizando técnicas según el avance del cambio climático.

A8. CENTROS DE ENFRIAMIENTO Y ADAPTACIÓN A OLAS DE CALOR

Objetivo: Proteger la salud de la población – especialmente adultos mayores, niños y enfermos crónicos – frente a olas de calor intensas, mediante la creación de **refugios climáticos** o centros de enfriamiento públicos y la adaptación de espacios urbanos que brinden alivio térmico durante eventos extremos.

Actividades específicas: Habilitar al menos un centro de enfriamiento por localidad urbana (ej. en sedes comunitarias o gimnasios con buena capacidad), equipándolos con aire acondicionado o ventilación adecuada, agua fría disponible y personal capacitado para atender emergencias por calor; definir protocolos para abrir estos centros cuando la temperatura supere cierto umbral (ej. ≥35°C) y difundir ampliamente su ubicación y horarios; adaptar espacios públicos de alto uso (plazas, parques) incorporando soluciones de enfriamiento urbano: más sombra (árboles o sombreaderos), áreas con aspersores de agua nebulizada, bebederos públicos y zonas de descanso frescas; lanzar campañas de educación sobre golpes de calor y autocuidado en verano (importancia de la hidratación, evitar sol directo en horas pico, cuidar vecinos mayores, etc.), complementarias a las acciones del sistema de alerta temprana; y coordinar

con el sector salud local (CESFAM) para que durante olas de calor realicen operativos de monitoreo a población de riesgo (llamados telefónicos o visitas a adultos mayores) y refuercen stocks de insumos como suero hidratante en postas.
Instituciones responsables: Dirección de Desarrollo Comunitario (DIDECO) y Salud Municipal encabezando la administración de centros de enfriamiento (con apoyo de personal de salud y asistencial); Dirección de Obras en la ejecución de infraestructura de sombreado/aspersores en plazas.
Comunitarios: Voluntarios de agrupaciones sociales (Clubes de adulto mayor, Cruz Roja) colaborando en la atención en centros de enfriamiento; familias vigilantes que deriven a vecinos vulnerables a los refugios en caso necesario.

Recursos Financieros: Compra de equipos de aire acondicionado o climatizadores portátiles; costos operativos de electricidad y agua durante su funcionamiento; materiales informativos (afiches, volantes) sobre prevención de golpes de calor. **Humanos:** Personal municipal o voluntario rotativo para atender los centros en horarios extendidos durante eventos (incluyendo paramédicos o TENS en los centros más grandes); cuadrillas para instalar y mantener aspersores en plazas; monitores de salud comunitaria. **Técnicos:** Sistemas de enfriamiento eficientes energéticamente; carpas o estructuras desmontables de sombra; termómetros de alta precisión para seguimiento de temperaturas locales en tiempo real; vehículos disponibles para trasladar personas frágiles a los refugios si no pueden por sus medios.

Posibles fuentes de financiamiento: Servicio de Salud (apoyo a infraestructura para adaptación al calor en el contexto de cambio climático y salud pública); SUBDERE (programas de mejoramiento de barrios pueden incluir equipamiento urbano de enfriamiento); eventuales fondos privados (donaciones de equipos de climatización por parte de empresas locales).

Plazos de ejecución: Corto plazo (1-2 años) para habilitar y probar los centros de enfriamiento principales antes de la siguiente temporada estival, y realizar adecuaciones básicas de sombra en plazas céntricas; Mediano plazo (3-5 años) para extender la red de refugios a sectores rurales (ej. postas como puntos climatizados) y completar la adaptación climática de la mayoría de espacios públicos concurridos; Largo plazo (6+ años) para mantener operativa esta red con mejoras continuas, evaluando reducciones en afecciones de salud por calor en la población (meta: cero fallecidos por olas de calor, reducción de X% en atenciones de urgencia relacionadas).

A9. REACONDICIONAMIENTO TÉRMICO DE VIVIENDAS VULNERABLES

Objetivo: Aumentar la habitabilidad y eficiencia energética de las viviendas de los sectores más vulnerables (particularmente casas antiguas o de autoconstrucción en sectores rurales y poblaciones) frente a extremos de temperatura, a través de su aislación térmica y mejoramiento – lo que a la vez reduce el consumo de leña/gas para calefacción y las emisiones contaminantes asociadas.

Actividades específicas: Implementar un programa de reacondicionamiento térmico enfocado inicialmente en viviendas de adultos mayores solos, familias de bajos recursos y viviendas sociales: realizar diagnósticos energéticos en terreno (termografías simples para detectar filtraciones de frío/calor), priorizar soluciones de aislación como instalación de envolvente térmica (insulación en techumbres, muros y entretechos), mejora de la ventilación y sellado de puertas/ventanas; postular proyectos al **Programa de Mejoramiento de Vivienda y Barrios** (Min. Vivienda) o similares, orientados a aislación térmica subsidiada en ciertos barrios; complementar con la reposición de sistemas de calefacción contaminantes – por ejemplo, incentivar el recambio de estufas a leña obsoletas por calefactores más eficientes o eléctricos en los hogares intervenidos, junto con educación a las familias sobre prácticas de climatización de bajo costo (uso de cortinas térmicas, ventilación nocturna en verano, etc.); y articular con el programa de arborización (medida A4) para plantar árboles de sombra alrededor de las viviendas reacondicionadas, potenciando el efecto de enfriamiento natural en verano.

Instituciones responsables: SECPLAC municipal en conjunto con Serviu regional para canalizar subsidios de mejoramiento; Oficina de Vivienda municipal gestionando la identificación de beneficiarios y apoyo técnico para las postulaciones; colaboración de la Seremi de Energía con asesoría técnica o programas piloto de eficiencia energética residencial. **Comunitarios:** Dirigentes vecinales y comités de vivienda difundiendo la iniciativa entre vecinos y apoyando en la priorización de casos; cuadrillas locales de maestros y ferreteros empleadas en las obras menores de reacondicionamiento.

Recursos Financieros: Subsidios habitacionales para mejoramiento (coste por vivienda para materiales aislantes, ventanas dobles, etc.); presupuesto municipal complementario para cubrir hogares no calificados en subsidios

pero igualmente necesitados. **Humanos:** Profesionales en construcción sustentable o arquitectos técnicos para supervisar las intervenciones; mano de obra local capacitada en técnicas de aislación; asistentes sociales para el trabajo con familias. **Técnicos:** Materiales como planchas aislantes, sellantes, burletes, revestimientos eficientes; equipamiento para evaluaciones térmicas (cámaras termográficas de préstamo o arrendamiento); diseños tipo de mejora para las tipologías de vivienda comunes en la comuna.

Posibles fuentes de financiamiento: Ministerio de Vivienda y Urbanismo – programas de habitabilidad rural y mejoramiento térmico (**Programa Hogar Mejor** que incorpora acondicionamiento térmico); Ministerio de Energía (eventuales fondos concursables de comunitarios de eficiencia energética); Fondos de equidad territorial para zonas rurales rezagadas si aplica.

Plazos de ejecución: Mediano plazo (3–5 años) para ejecutar mejoramientos en un número significativo de viviendas piloto (por ejemplo, 100 viviendas reacondicionadas en 3 años) y evaluar su desempeño en reducción de consumo energético; Largo plazo (6+ años) para expandir gradualmente la cobertura a la mayoría de viviendas vulnerables (meta posible: 500 viviendas reacondicionadas a 10 años), con monitoreo de la disminución en gastos de energía de las familias y de la contaminación intradomiciliaria.

7.3. MEDIDAS DE MITIGACIÓN PRIORITARIAS

Las medidas de mitigación se centran en reducir las emisiones de GEI a nivel comunal, abordando las principales fuentes identificadas (transporte, energía residencial, residuos y actividades agropecuarias) y aumentando sumideros de carbono. Muchas de ellas generan beneficios colaterales como mejor calidad de aire, ahorro económico y modernización productiva. A continuación se detallan:

M1. PROGRAMA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍAS RENOVABLES

Objetivo: Disminuir las emisiones energéticas comunales mediante la mejora de la eficiencia energética en edificios públicos y residenciales, la transición hacia energías renovables locales y la reducción del uso de combustibles fósiles (especialmente leña no sostenible), contribuyendo a la meta nacional de carbono-neutralidad y mejorando la calidad del aire local.

Actividades específicas: Implementar un plan municipal de eficiencia energética: realizar auditorías energéticas en edificios municipales (iluminación, climatización) e implementar medidas como recambio de luminarias a tecnología LED, control de tiempos de encendido y aislamiento en dependencias (reduciendo consumo eléctrico); promover y facilitar la instalación de sistemas solares – por ejemplo, paneles fotovoltaicos en techos de colegios y faroles solares en alumbrado público rural – con apoyo de programas gubernamentales; crear incentivos o asesoría técnica para pyme locales (como packings agrícolas, comercio) que deseen invertir en eficiencia (motores eficientes, refrigeración sustentable); lanzar campañas de difusión sobre uso eficiente de la energía en hogares (etiquetado de artefactos, hábitos de ahorro); y en coordinación con salud y medio ambiente, promover el recambio de estufas a leña por calefactores más limpios (leña seca certificada, pellet o bombas de calor) en las viviendas, mitigando la contaminación por humo en invierno. Adicionalmente, fomentar la electromovilidad en el ámbito público: avanzar hacia la adquisición progresiva de vehículos eléctricos en la flota municipal (por ej., reemplazar en 5 años un 20% de vehículos a combustión por eléctricos), siguiendo ejemplos como Peñaflor que busca electrificar 30% de su flota a 2035

Instituciones Responsables: Dirección de Medio Ambiente y Departamento Eléctrico municipal liderando las mejoras en instalaciones municipales; SECPLAC formulando proyectos de paneles solares y gestionando financiamiento; Ministerio de Energía (Seremi) brindando apoyo técnico y programas de recambio/eficiencia; Departamento de Salud vinculando el componente de calefacción limpia a planes de descontaminación. **Comunitarios:** Comercios locales y empresas agrícolas que voluntariamente se sumen a acuerdos de eficiencia (ej. APL locales); juntas de vecinos difundiendo y apoyando postulaciones a recambio de calefactores en sus sectores.

Recursos Financieros: Inversión inicial en tecnología (kits solares, ampolletas LED, equipos eficientes) que se recupera vía ahorros; subsidios para recambio de estufas (costo unitario significativo); posible creación de un fondo rotatorio comunal de eficiencia energética. **Humanos:** Ingenieros en eficiencia energética, técnicos eléctricos para instalaciones solares; personal de operaciones entrenado en mantenimiento de nuevos sistemas; monitores para educar sobre uso adecuado de equipos eficientes. **Técnicos:** Auditorías energéticas (herramientas de medición de consumo); sistemas

fotovoltaicos con sus componentes; vehículos eléctricos de trabajo con su estación de carga; bases de datos de consumos energéticos para seguimiento.

Posibles fuentes de financiamiento: Ministerio de Energía (programa "Comuna Energética" y fondos de acceso a energía renovable); SUBDERE (línea de mejoramiento de gestión municipal, podría financiar eficiencia en edificios públicos); Gobierno Regional (ej. programa de recambio de calefactores existente en algunas regiones); mecanismos de ESCOs (empresas de servicios energéticos) para cofinanciar proyectos de eficiencia pagándose con ahorros futuros.

Plazos de ejecución: Corto plazo (1–2 años) para implementar las medidas de "fruta al alcance" – cambio de luminarias públicas a LED en 100% de calles, instalación de primeros paneles solares en 2 edificios públicos piloto, y recambio de X estufas en hogares críticos; Mediano plazo (3–5 años) para expansiones mayores – lograr, por ejemplo, un 15% de la matriz eléctrica comunal provista por solar y reducir en 20% el consumo eléctrico municipal al 2028; Largo plazo (6+ años) para masificar la adopción residencial de tecnologías eficientes y lograr flota municipal baja en emisiones hacia 2035.

M2. MOVILIDAD SOSTENIBLE Y BAJAS EMISIONES

Objetivo: Reducir las emisiones de GEI del transporte local fomentando una movilidad sostenible, segura y accesible, que priorice modos activos (bicicleta, caminata) y transporte público/compartido por sobre el automóvil particular, incorporando además tecnologías limpias.

Actividades específicas: Elaborar e implementar un Plan de Movilidad Sustentable comunal que contemple la expansión de la red de ciclovías interconectadas entre los principales barrios y hacia escuelas y lugares de trabajo – meta referencial: aumentar en al menos 50% la longitud de ciclovías al 2035, tal como comunas similares han propuesto; instalar infraestructura de apoyo al ciclismo (estacionamientos para bicicletas, puntos de hidratación) y desarrollar campañas de "cada vecino en bici" prestando bicicletas comunitarias en eventos; coordinar con el sector transporte regional la mejora de la oferta de transporte público en Santa María (frecuencias adecuadas de buses o minibuses hacia centros urbanos cercanos, incentivar uso mediante subsidios de tarifa social si es posible); promover modalidades de transporte compartido en zonas rurales (ej.

aplicaciones o sistemas comunitarios para compartir viajes al centro urbano, reduciendo viajes redundantes); y estimular la introducción de vehículos eléctricos o bajos en emisiones localmente – por ejemplo, gestionar la instalación de un cargador público para vehículos eléctricos en la comuna para atraer usuarios, y modernizar paulatinamente vehículos municipales de transporte de pasajeros (buses escolares o de acercamiento) hacia alternativas eléctricas o híbridas. Toda la implementación debe involucrar a la comunidad, recogiendo propuestas ciudadanas para mejorar calles y conectividad.

Instituciones Responsables: Dirección de Tránsito y SECPLAC para el diseño de ciclovías y gestión de financiamiento de obras viales; coordinación con SEREMI de Transportes para temas de transporte público; Departamento de Medio Ambiente apoyando en educación vial sustentable. **Comunitarios:** Ciclistas organizados y grupos juveniles participando en mesas de movilidad, monitoreando el estado de ciclovías; sindicatos de taxis/colectivos locales que puedan implementar esquemas de auto compartido; vecinos usuarios aportando datos de demanda de transporte en encuestas participativas.

Recursos Financieros: Inversión en infraestructura ciclovial (pavimentación, demarcación, señalización); recursos para subsidios o incentivos (ej. un pequeño incentivo municipal para compras de bicicletas o kits de seguridad); costos de instalación de un punto de carga de EV (posiblemente apoyado por empresas eléctricas). **Humanos:** Ingeniero de transporte o urbanista contratado para elaborar el plan de movilidad; cuadrillas de obras viales para ejecución de tramos de ciclovía; monitores de seguridad vial instruyendo a ciclistas y automovilistas en convivencia vial. **Técnicos:** Proyectos de ingeniería para ciclovías integradas al plan regulador; aplicaciones móviles de carpooling local adaptadas; datos de líneas de buses existentes para optimizar rutas.

Posibles fuentes de financiamiento: Programa de Vialidad Urbana del MINVU (puede financiar ciclovías); Gobierno Regional (proyectos de transporte sostenible con fondos FRIL o FNDR); acuerdos con empresas de energía para patrocinar cargadores eléctricos; fondos del Ministerio de Transportes (subsidio transporte regional) para mejorar buses rurales.

Plazos de ejecución: Corto plazo (1–2 años) para construir los primeros tramos prioritarios de ciclovía (ejes críticos, por ejemplo 5 km iniciales) e

implementar programa educativo de movilidad; Mediano plazo (3–5 años) para completar una red básica continua de ciclovías entre puntos clave de la comuna y lograr mejoras perceptibles en transporte público (renovación parcial de flota, aumento de pasajeros en 15%); Largo plazo (6+ años) para consolidar un cambio modal significativo (meta posible: que al menos 30% de los viajes urbanos menores de 5 km sean caminando o en bici al 2030), con continua incorporación de tecnologíalimpia en el parque vehicular local.

M3. GESTIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS Y ECONOMÍA CIRCULAR

Objetivo: Disminuir las emisiones de metano del **disposición de residuos** y avanzar hacia una economía circular a nivel comunal, mediante la valorización de residuos orgánicos (compostaje) y el aumento de tasas de reciclaje, reduciendo la cantidad de desechos enviados a relleno sanitario.

Actividades específicas: Instalar puntos verdes o "**stands** de entrega voluntaria" de residuos orgánicos en sectores urbanos (por ejemplo, contenedores especiales en ferias libres y plazas) donde los vecinos depositen restos vegetales y de poda, que serán recolectados para compostaje centralizado; poner en marcha un programa de compostaje comunitario: habilitar un centro de compostaje o vermicompostaje municipal donde procesar los orgánicos recolectados, con participación de vecinos en la gestión y obtención de compost para áreas verdes o huertos; fortalecer el sistema de reciclaje de inorgánicos ampliando la cobertura de puntos limpios o recolección selectiva (buscar incluir a más sectores rurales con puntos de acopio periódicos) y realizando campañas de educación en separación de residuos; fomentar la reducción en la fuente – trabajar con supermercados y ferias para minimizar plásticos de un solo uso, promover bolsas reutilizables, etc., y con agricultores para reincorporar rastrojos al suelo en vez de quema; y, en coordinación con Salud, explorar la gestión de residuos orgánicos domiciliarios como parte del plan de saneamiento (por ejemplo, distribución de composteras domiciliarias a familias motivadas). Estas acciones se complementarán con difusión de los beneficios climáticos de la economía circular (menor huella de carbono por reciclaje, menor metano por compostaje).

Instituciones Responsables: Dirección de Medio Ambiente (Unidad de Residuos) como coordinador principal; apoyo de empresas de aseo concesionadas en la logística de recolección diferenciada; SEREMI Medio Ambiente y Gobierno Regional brindando asesoría y financiamiento inicial

(Santa María podría adherir al programa regional de economía circular si existe). **Comunitarios:** Recicladores de base y cooperativas locales integrados en el proceso de recolección y clasificación (generando empleo verde); organizaciones vecinales y colegios gestionando sus propios compostajes con asesoría municipal; feriantes y comerciantes participando en acuerdos de reducción de desechos en origen.

Recursos Financieros: Inversión en infraestructura de compostaje (chipeadoras para restos de poda, módulos composteros de gran escala, terreno habilitado); costos de contenedores diferenciados y su mantenimiento; incentivos (por ej. descuento en tarifa de aseo) para participantes activos en compostaje. **Humanos:** Monitores ambientales formados en compostaje y reciclaje para guiar a la comunidad; operarios para planta de compostaje; personal para campañas de sensibilización puerta a puerta sobre segregación de basura. **Técnicos:** Equipos de protección y maquinaria para manipulación de orgánicos; vehículos adaptados para recolección separada; sistema de registro de volumen de residuos valorizados (para calcular reducción de emisiones equivalentes).

Posibles fuentes de financiamiento: Fondos de Reciclaje del MMA para infraestructura de compostaje; FNDR de medio ambiente para proyectos de economía circular comunal; alianzas con Fundación Chile o FIA (innovación agraria) para pilotos de compostaje; aportes de empresas locales interesadas en compensar su huella de residuos.

Plazos de ejecución: Corto plazo (1–2 años) para implementar los puntos verdes de orgánicos (al menos 3 en la comuna) e iniciar compostaje a pequeña escala con participación comunitaria; Mediano plazo (3–5 años) para escalar a un sistema consolidado (meta: reducir en 50% los residuos orgánicos enviados al relleno sanitario hacia 2028) y aumentar tasa de reciclaje total comunal a, por ejemplo, 20%; Largo plazo (6+ años) para acercarse a un modelo de **basura cero** (minimización máxima de residuos) con plena valorización orgánica y una ciudadanía con hábitos arraigados de separación y reciclaje.

M4. CONSERVACIÓN Y AUMENTO DE SUMIDEROS DE CARBONO

Objetivo: Potenciar la capacidad de la comuna de capturar CO_2 de la atmósfera y contribuir a la meta de carbono-neutralidad, mediante la protección de bosques y vegetación nativa existente y la

reforestación/forestación en áreas degradadas, integrando a propietarios locales en iniciativas de sumideros de carbono.

Actividades específicas: Identificar y mapear los terrenos comunales con potencial de forestación/reforestación (laderas erosionadas, ribazos de quebradas, predios fiscales disponibles) e implementar un plan de plantación de especies nativas resilientes en coordinación con CONAF – en línea con esfuerzos nacionales que apuntan a restaurar cientos de miles de hectáreas de bosque nativo para 2030, establecer convenios de **manejo sustentable** con dueños de bosques nativos actuales (por ej., asesoría y pequeños incentivos económicos a agricultores de secano con bosque en su predio para que eviten desmonte y apliquen manejo silvícola que mejore la captura de carbono de sus árboles); postular la creación de una Reserva Natural Municipal (RENAMU) si procede, que proteja oficialmente espacios con alto valor de sumidero (ej. bosque esclerófilo denso en piedemontes) y permita acceder a fondos para su cuidado; explorar mecanismos de bonos de carbono locales o pagos por servicios ambientales – por ejemplo, cuantificando cuántas toneladas de CO_2 extra retienen los bosques comunales con estas intervenciones y ofreciendo esos créditos voluntarios a empresas que buscan compensar emisiones, reinvirtiendo lo recaudado en más reforestación; e integrar las acciones de sumideros con campañas educacionales para que la comunidad comprenda que plantar y cuidar árboles es parte de la solución climática (posiblemente combinando con la medida A4 de arborización urbana).

Instituciones Responsables: Dirección de Medio Ambiente junto a CONAF (Departamento de Cambio Climático y Bosque Nativo) liderando la planificación forestal; Municipalidad impulsando la figura de Reserva Municipal si es viable; SECPLAC apoyando la estructuración de proyectos de captura de carbono; eventualmente coordinación con Ministerio de Agricultura (por medio de INDAP o FIA) para trabajar con pequeños propietarios rurales. **Comunitarios:** Propietarios de terrenos aptos para reforestación (ej. comunidades agrícolas) participando voluntariamente en programas de plantación en sus suelos; organizaciones ambientales y estudiantes realizando actividades de plantación y monitoreo del crecimiento de bosques; juntas de vigilancia rural colaborando en evitar tala ilegal o incendios en los bosques protegidos.

Recursos Financieros: Fondos significativos para compra de plantas nativas en gran volumen y faenas de plantación/mantenimiento por varios años;

posibles subsidios por hectárea conservada para dueños de bosques (similar a pagos por servicios ecosistémicos); costos de certificación si se busca validar bonos de carbono (auditorías, informes técnicos). **Humanos:** Ingenieros forestales y técnicos en terreno supervisando las plantaciones y haciendo seguimiento de captura; personal para vivero o proveedores de plantas; consultores en mecanismos de carbono para desarrollar proyectos verificables. **Técnicos:** Inventarios forestales comunales periódicos (área forestada, biomasa); herramientas SIG para monitorear cobertura vegetal; metodologías estándar de cálculo de captura de carbono (ej. conforme a la Estrategia Nacional de Bosques

Posibles fuentes de financiamiento: CONAF (Programa de Forestación, programas de Bonos de Carbono Forestal); Fondos internacionales climáticos (FCPF, Fondo Verde del Clima para iniciativas locales de sumideros); empresas vía responsabilidad climática invirtiendo en proyectos locales de forestación; Subsecretaría de Desarrollo Regional (SUBDERE) si apoya la creación de reservas municipales con fines climáticos.

Plazos de ejecución: Mediano plazo (3–5 años) para concretar las primeras grandes reforestaciones comunales y dejar operativos los convenios de manejo con privados (esperando ver supervivencia de árboles plantados >70% al cabo de 3 años); Largo plazo (6+ años) para que los bosques crecidos comiencen a generar sumideros significativos medibles (por 2030–2035 evaluar toneladas de CO_2 capturadas anualmente por los nuevos bosques) y para mantener estas áreas protegidas de amenazas (plagas, incendios) asegurando su permanencia como sumideros duraderos.

M5. FOMENTO DE PRÁCTICAS AGROPECUARIAS SUSTENTABLES

Objetivo: Reducir las emisiones de GEI del sector agrícola y ganadero local principalmente metano de la ganadería y óxido nitroso de suelos fertilizados impulsando prácticas más sostenibles en el agro, a la vez que se mejora la eficiencia productiva y se preservan suelos y aguas.

Actividades específicas: Implementar un programa con agricultores y crianceros para optimizar el uso de fertilizantes nitrogenados: capacitación en dosis adecuadas, uso de fertilización orgánica (estiércol compostado) y técnicas de agricultura de precisión para evitar excedentes que generan emisiones de N_2O; promover la gestión adecuada de purines y estiércoles en planteles ganaderos por ejemplo, construcción de biodigestores o estanques

de acumulación para tratamiento anaeróbico de modo que el metano generado por el estiércol se capture y aproveche (biogás) en vez de liberarse; difundir mejoras en manejo ganadero para reducir emisiones entéricas de metano: optimizar la dieta del ganado (incorporando forrajes de mejor calidad o aditivos naturales que disminuyan fermentación), mejorar la genética y salud animal para una producción más eficiente (menos animales emitiendo por unidad de producto); incentivar prácticas de agricultura regenerativa que aumentan el carbono en suelos (rotación de cultivos con leguminosas, cobertura vegetal permanente, cero quema de rastrojos) esto además mejora la resiliencia a sequía; y articular la formación de una Mesa Agrícola Climática local con representantes de agricultores, INDAP, SAG y el municipio, para intercambiar conocimientos, evaluar resultados y acceder conjuntamente a proyectos de financiamiento verde para el sector silvoagropecuario.

Instituciones Responsables: Oficina Agrícola Comunal (si existe, o PRODESAL/INDAP local) liderando la implementación con los productores; INDAP brindando asesoría técnica a pequeños agricultores en prácticas sustentables; SAG apoyando en regulación y capacitación sobre manejo de estiércol y quema de rastrojos (fiscalización de prohibición de quemas abiertas, por ejemplo). **Comunitarios:** Agricultores locales (viñateros, hortaliceros) y ganaderos medianos comprometidos que adopten rol demostrativo ante sus pares; comunidades de regantes y usuarios de agua que también se benefician de prácticas que reducen contaminación difusa.

Recursos Financieros: Incentivos económicos para adopción de tecnologías (co-financiar biodigestores o praderas mejoradas); fondos para asistencia técnica prolongada en predios (visitas de especialistas); microcréditos verdes blandos para inversión en equipos de agricultura de precisión o mejora de establos. **Humanos:** Ingenieros agrónomos, médico veterinario y técnico agrícola dedicados a asesorar directamente a los productores en terreno; "agricultores líderes" ya capacitados que orienten a sus vecinos (extensionismo horizontal). **Técnicos:** Kits de medición de suelo (para ajustar fertilización); diseños de biodigestores familiares apropiados a escala pequeña; semillas de cultivos de cobertura; manuales de buenas prácticas adaptados a rubros locales (ej. guía para manejo de viñas bajas en emisiones).

Posibles fuentes de financiamiento: INDAP (programas de Desarrollo Territorial PDTI/PRODESAL pueden reorientar recursos a acciones

climáticas); Fondos de Innovación Agrícola (FIA) para proyectos pilotos de biodigestores o suplementos alimenticios innovadores; Ministerio de Agricultura – Oficina de Cambio Climático que a veces financia pilotos de NAMA Agro (acciones apropiadas de mitigación en agricultura); cooperación internacional (ej. FAO, GCF) en iniciativas de ganadería baja en emisiones.

Plazos de ejecución: Corto plazo (1–2 años) para identificar productores participantes y ejecutar pilotos demostrativos (un biodigestor instalado en un tambo local, 2 predios con plan de manejo de fertilizantes personalizado, etc.); Mediano plazo (3–5 años) para que al menos 30% de los pequeños y medianos productores de la comuna estén aplicando una o más prácticas bajas en emisiones, con reducciones medibles (por ej. 20% menos fertilizante sintético usado en predios participantes); Largo plazo (6+ años) para integrar estas prácticas como estándar productivo local y lograr una reducción significativa de la huella de carbono agropecuaria comunal (rumbo a 2030–2035, acompasado con metas nacionales sectoriales).

Nota: Varias medidas de mitigación anteriores (por ejemplo, reforestación en M4, compostaje en M3, eficiencia energética en M1) también aportan a la adaptación del territorio, ilustrando las sinergias buscadas. Cada medida priorizada de adaptación o mitigación se ha diseñado considerando criterios de factibilidad local y co-beneficios, asegurando su coherencia con los objetivos de desarrollo comunal.

7.4. CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN POR MEDIDA

A continuación se presenta una tabla resumen con el cronograma de implementación de cada medida priorizada, organizada según el **eje temático** (Adaptación o Mitigación) y el sector involucrado, indicando su horizonte de plazo principal:

Eje	Sector / Área	Medida priorizada	Plazo de ejecución
Adaptación ⚑	Recursos Hídricos	A1. Reutilización de aguas e infraestructura verde	Corto y Mediano plazo (inicia inmediato, consolidación a 5 años)
Adaptación ⚑	Recursos Hídricos	A2. Gestión hídrica sostenible y recarga de acuíferos	Mediano plazo (programa 3–5 años,

Eje	Sector / Área	Medida priorizada	Plazo de ejecución
			continuidad largo plazo)
Adaptación ⚑	Ecosistemas / Biodiversidad	A3. Protección y restauración de ecosistemas vulnerables	Mediano plazo (acciones 3–5 años) y mantenimiento largo plazo
Adaptación ⚑	Ecosistemas / Biodiversidad	A4. Incremento de cobertura arbórea nativa	Corto plazo (inicio inmediato) y Mediano plazo (expansión)
Adaptación ⚑	Educación / Transversal	A5. Programa de educación y sensibilización climática	Corto plazo (puesta en marcha) y continuo
Adaptación ⚑	Gestión de Riesgos	A6. Alerta temprana y respuesta a emergencias	Corto plazo (sistema básico) y Mediano plazo (optimización)
Adaptación ⚑	Gestión de Riesgos	A7. Prevención y manejo de incendios forestales	Corto plazo (prevención urgente) y Mediano plazo (brigadas listas)
Adaptación ⚑	Salud / Espacio Público	A8. Centros de enfriamiento (olas de calor)	Corto plazo (pilotos) y Mediano plazo (cobertura total)
Adaptación ⚑	Vivienda / Social	A9. Reacondicionamiento térmico de viviendas	Mediano plazo (ejecución 3–5 años)
Mitigación ♺	Energía	M1. Eficiencia energética y energías renovables	Corto plazo (acciones inmediatas) y Mediano plazo (proyectos mayores)
Mitigación ♺	Transporte	M2. Movilidad sostenible y bajas emisiones	Corto plazo (inicia ciclovías) y Mediano plazo (red consolidada)
Mitigación ♺	Residuos	M3. Gestión de residuos orgánicos y reciclaje	Corto plazo (pilotos) y Mediano plazo (sistema operativo)

Eje	Sector / Área	Medida priorizada	Plazo de ejecución
Mitigación ♺	Ecosistemas / AFOLU	M4. Aumento de sumideros de carbono (reforestación)	Mediano plazo (plantaciones) y Largo plazo (crecimiento bosques)
Mitigación ♺	Agropecuario	M5. Prácticas agropecuarias sustentables	Corto plazo (pilotos) y Mediano plazo (adopción generalizada)

Leyenda: ⚑ Adaptación, ♺ Mitigación. **"Corto plazo" = medidas iniciadas en 1-2 años; "Mediano plazo" = implementadas en 3-5 años; "Largo plazo" = resultados/continuidad más allá de 6 años.**

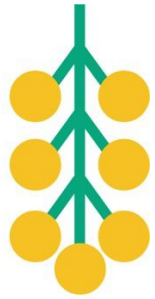
Es importante destacar que varias medidas de adaptación requieren continuidad a largo plazo (mantención, monitoreo), y las de mitigación consolidarán sus impactos hacia 2030 o más, en línea con las metas nacionales.

Este cronograma integrado por ejes y sectores permite visualizar la secuencia temporal de las acciones. Inicialmente (años 1-2) predominan actividades de organización, pilotos y "victorias tempranas" (ej. sistemas de reuso de agua, ciclovías iniciales, centros de enfriamiento, etc.). A mediano plazo (años 3-5) se espera la escalada e institucionalización de los programas (por ejemplo, red de alerta temprana robusta, programa de compostaje funcionando a plena capacidad, decenas de viviendas aisladas térmicamente). A largo plazo (6+ años), las medidas requieren sostenibilidad: mantención de ecosistemas restaurados, actualizaciones tecnológicas en eficiencia energética, re-evaluación de metas y posiblemente integración de nuevas acciones según evolución del contexto climático.

La coordinación por sectores (hídrico, ecosistemas, energía, etc.) asegurará que las acciones se refuercen entre sí y eviten duplicidades. Asimismo, los plazos señalados orientan la planificación financiera y permiten al municipio y la comunidad preparar con antelación los recursos y capacidades necesarios en cada etapa.

CAPÍTULO 8:
PLAN DE IMPLEMENTACIÓN





8.1. INDICADORES Y SEGUIMIENTO

Para estructurar la implementación del PACCC de Santa María se propone un cronograma que distribuya las medidas de adaptación y mitigación en plazos cortos (1–2 años), medios (3–5 años) y largos (6–10 años). En el corto plazo se priorizan acciones piloto y "victorias tempranas" –por ejemplo, instalación de los primeros sistemas de reúso de agua, plantaciones iniciales de árboles y habilitación de centros de enfriamiento– con impactos rápidos. En el mediano plazo se escalan e institucionalizan programas (por ejemplo, consolidar la red de alerta temprana, ampliar el compostaje comunal, completar la red de ciclovías). En el largo plazo las medidas requieren sostenibilidad: mantenimiento de ecosistemas restaurados, actualización tecnológica y evaluación continua de resultados (p. ej. medir la captura de CO2 de bosques plantados o la reducción de consumo energético alcanzada).

8.2. INDICADORES DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO POR MEDIDA

Para asegurar el cumplimiento y efectividad del PACCC, se define un conjunto de indicadores de seguimiento para cada medida priorizada, siguiendo las orientaciones del Manual CR2 y distinguiendo indicadores de **proceso**, **resultado** e **impacto**. Estos indicadores permitirán monitorear el avance de las actividades (proceso), verificar logros inmediatos (resultado) y evaluar los efectos finales en la comuna (impacto). Se incluye también la frecuencia de medición y la fuente o medio de verificación de cada indicador:

- **A1. Reutilización de aguas e infraestructura verde:**
    - **Indicador de proceso:** Número de sistemas de recolección de aguas lluvia/grises instalados en viviendas y edificios públicos por año. Frecuencia: Semestral (registro municipal). Fuente: Informes de avance de instalación, actas de entrega de sistemas.
    - **Indicador de resultado:** Volumen anual de agua potable ahorrado (m^3/año) en riego de áreas verdes gracias al uso de aguas recicladas. Frecuencia: Anual. Fuente: Medición de estanques de aguas lluvia utilizados y comparativa de consumos de agua municipal (reportes de ESSAO local).
    - **Indicador de impacto:** Porcentaje de reducción de la extracción de agua subterránea para riego urbano en 5 años en la comuna.

Frecuencia: Bienal. Fuente: Datos DGA y reportes de APR sobre caudales extraídos; medición de niveles freáticos en pozos de monitoreo.

- **A2. Gestión hídrica sostenible y recarga de acuíferos:**
    - **Indicador de proceso:** Número de entidades adheridas al Certificado Azul u otros acuerdos hídricos (empresas/organizaciones) en la comuna. Frecuencia: Anual. Fuente: Certificaciones otorgadas por ASCC, actas de alianzas público-privadas firmadas.
    - **Indicador de resultado:** Variación del caudal base de estiaje del río Aconcagua (L/s) en sectores de Santa María después de intervenciones de recarga (como porcentaje de aumento respecto a línea base). Frecuencia: Anual (temporada seca). Fuente: Mediciones hidrométricas DGA/ARCLIM; reportes de proyecto de recarga.
    - **Indicador de impacto:** Nivel de agua en acuíferos locales (profundidad del nivel freático en metros) en puntos de monitoreo clave, comparado con línea base 2025. Frecuencia: Anual. Fuente: Piezómetros comunales instalados / datos DGA. **(Impacto esperado: tendencia a estabilización o alza del nivel, indicando mayor resiliencia hídrica.)**
- **A3. Protección y restauración de ecosistemas vulnerables:**
    - **Indicador de proceso:** Hectáreas intervenidas en restauración ecológica (reforestadas, limpiadas, protegidas) acumuladas por año. Frecuencia: Anual. Fuente: Informes técnicos de CONAF/municipio, georreferenciación de áreas restauradas.
    - **Indicador de resultado:** Incremento en la cobertura vegetal nativa (%) en las áreas restauradas (Santuario, riberas) al cabo de 5 años. Frecuencia: Cada 2 años (monitoreos bianuales). Fuente: Imágenes satelitales/DRONE comparativas, estudios de biodiversidad (línea base vs seguimiento).
    - **Indicador de impacto:** Índice de diversidad biológica (ej. índice de Shannon) para flora y fauna clave en el Santuario El Zaino y riberas, en comparación con la línea base pre-restauración. Frecuencia: Cada 3 años. Fuente: Programa de monitoreo de biodiversidad comunitario con apoyo académico (checklists de

especies, avistamientos). **(Un aumento indicaría ecosistemas más saludables y resilientes.)**

- **A4. Incremento de cobertura arbórea nativa:**
    - **Indicador de proceso:** Número de árboles nativos plantados y sobrevivientes cada año en zonas urbanas/rurales de la comuna. Frecuencia: Anual (temporada de plantación). Fuente: Registro del vivero municipal y actas de jornadas de plantación; encuestas de supervivencia al año de plantación.
    - **Indicador de resultado:** Porcentaje de aumento de cobertura de sombra arbórea en plazas urbanas intervenidas, respecto a la situación base. Frecuencia: Bianual (veranos). Fuente: Mediciones de cobertura (mapas de sombra, imágenes aéreas en verano); datos de temperatura superficial en plazas (termómetros infrarrojos).
    - **Indicador de impacto:** Toneladas de CO_2 capturadas anualmente por el nuevo arbolado al alcanzar madurez (aprox. a 10–15 años vista). Frecuencia: Evaluación a largo plazo (cada 5 años). Fuente: Cálculo estimado según crecimiento de especies (modelos alométricos) y densidad de árboles plantados **(Refleja la contribución al sumidero de carbono comunal.)**
- **A5. Programa de educación y sensibilización climática:**
    - **Indicador de proceso:** Número de actividades educativas realizadas por año (talleres, charlas, salidas) y número de participantes totales. Frecuencia: Semestral. Fuente: Registro de la Unidad de Medio Ambiente (listas de asistencia, reportes de actividades).
    - **Indicador de resultado:** Nivel de conocimiento y cambio de actitudes en la población objetivo, medido a través de encuestas antes/después (% de encuestados que pueden mencionar 3 acciones climáticas domésticas, por ejemplo). Frecuencia: Anual (evaluación al final de cada ciclo de talleres). Fuente: Encuestas de evaluación aplicadas por monitores a participantes, con análisis comparativo pre/post.
    - **Indicador de impacto:** Grado de participación ciudadana en acciones climáticas comunales – medido como % de habitantes que reportan involucramiento en al menos una iniciativa climática (reforestación, reciclaje, etc.) en el último año.

Frecuencia: Cada 2 años. Fuente: Encuesta de percepción ciudadana o consulta pública (pudiendo integrarse a encuestas municipales de calidad de vida). **(Un aumento en este indicador indicaría mayor empoderamiento y cultura climática en la comuna.)**

- **A6. Alerta temprana y respuesta a emergencias:**
    - **Indicador de proceso:** Porcentaje de cobertura de la población bajo el sistema de alerta temprana (ej. % de población que recibiría un aviso efectivo ante una emergencia, según registros de difusión). Frecuencia: Anual (simulacros/evaluaciones). Fuente: Informe de simulacros: alcance de notificaciones (vía SMS, sirenas audibles en X de Y sectores, etc.).
    - **Indicador de resultado:** Tiempo de respuesta promedio desde la emisión de una alerta hasta la activación de la comunidad (p.ej., apertura de albergues, movilización de brigadas) en simulacros o eventos reales. Frecuencia: Anual. Fuente: Cronometría en simulacros, bitácoras de emergencias reales registradas por la municipalidad/Onemi.
    - **Indicador de impacto:** Reducción en daños y afectación por emergencias climáticas con respecto a eventos similares anteriores – por ejemplo, comparación del número de viviendas dañadas o personas afectadas en inundaciones antes vs después de implementado el sistema. Frecuencia: Tras cada evento significativo / evaluación bienal. Fuente: Fichas EDAN de emergencias, catastro municipal post-evento; informes de Onemi. **(Una tendencia a menores daños o evacuaciones más ordenadas indicaría mayor resiliencia.)**
- **A7. Prevención y manejo de incendios forestales:**
    - **Indicador de proceso:** Longitud de cortafuegos o fajas fuel break mantenidas (km anuales) y número de brigadistas comunitarios capacitados. Frecuencia: Anual (previo a temporada de incendios). Fuente: Informes de CONAF/municipio, listas de capacitación.
    - **Indicador de resultado:** Tiempo de detección y respuesta inicial ante conato de incendio (minutos desde avistamiento hasta llegada de brigada/Bomberos). Frecuencia: Por evento,

consolidado anual. Fuente: Registros de Bomberos y torres de vigilancia (donde existan); encuestas a vigías comunitarios.

- **Indicador de impacto:** Superficie promedio quemada por incendio forestal en la comuna (hectáreas/incendio) en cada temporada, comparada con promedio histórico. Frecuencia: Anual (temporada de incendios). Fuente: Estadísticas de CONAF (informe temporada) desagregadas para Santa María. **(La meta sería reducir esa superficie, señal de incendios controlados más rápidamente.)**

- **A8. Centros de enfriamiento y adaptación a olas de calor:**
  - **Indicador de proceso:** Número de centros de enfriamiento habilitados y operativos, y días totales de apertura por temporada de verano. Frecuencia: Anual (verano). Fuente: Registros municipales de activación de refugios (fechas y lugares).
  - **Indicador de resultado:** Cantidad de personas que utilizan los centros de enfriamiento durante cada evento de ola de calor (promedio por día de evento, desagregado por grupo etario). Frecuencia: Por evento / temporada. Fuente: Fichas de registro en centros (ingresos diarios, encuestas de satisfacción).
  - **Indicador de impacto:** Incidencia de problemas de salud asociados a calor extremo en la comuna – e.g., número de atenciones de urgencia por golpe de calor o deshidratación en verano – comparada antes y después de implementar los refugios. Frecuencia: Anual (verano). Fuente: Registros CESFAM/SEREMI de Salud, informes epidemiológicos de verano. **(Una reducción indicaría efectividad protectora de la medida.)**

- **A9. Reacondicionamiento térmico de viviendas:**
  - **Indicador de proceso:** Número de viviendas vulnerables reacondicionadas térmicamente a la fecha (acumulado por año). Frecuencia: Anual. Fuente: Base de datos municipal de viviendas intervenidas, certificados de obras terminadas.
  - **Indicador de resultado:** Variación promedio de consumo de energía para calefacción en hogares intervenidos (medido en reducción de uso de leña o gas por temporada, % de disminución respecto a antes). Frecuencia: Anual (invierno). Fuente:

Encuestas energéticas a beneficiarios, monitoreo de compra de leña por familias (autorreporte o vía comerciantes locales).

- **Indicador de impacto:** Cambio en la concentración de material particulado (PM2.5) en la comuna durante invierno, como indicador de menor emisión por calefacción residencial. Frecuencia: Anual (temporada de alta polución). Fuente: Estación de monitoreo de calidad del aire más cercana o campañas de medición locales; informes de SEREMI Medio Ambiente. **(Aunque influido por más factores, una baja sostenida sugiere impacto de mejoras en viviendas y equipos.)**

- **M1. Eficiencia energética y ERNC:**
  - **Indicador de proceso:** Porcentaje de luminarias públicas reemplazadas por LED (sobre total) y número de instalaciones municipales con medidas de EE implementadas. Frecuencia: Anual. Fuente: Informes de mantención eléctrica municipal, proyectos ejecutados.
  - **Indicador de resultado:** Reducción del consumo eléctrico municipal (kWh/año) respecto a línea base 2024. Frecuencia: Anual. Fuente: Boletas eléctricas consolidadas del municipio; reporte de la Estrategia Energética Local si existefile-3ekrsgttsmvrzxxgzsq2nkfile-3ekrsgttsmvrzxxgzsq2nk.
  - **Indicador de impacto:** Toneladas de CO_2 evitadas al año por eficiencia y energías renovables (cálculo a partir de kWh ahorrados y generados renovablemente). Frecuencia: Anual. Fuente: Cálculo técnico según factores de emisión eléctricos (Ministerio de Energía). **(Muestra la contribución directa a meta GEI de la comuna.)**
- **M2. Movilidad sostenible:**
  - **Indicador de proceso:** Kilómetros de ciclovía construidos (y % de la meta alcanzada) y número de bicicletas públicas o estacionamientos bici instalados. Frecuencia: Anual. Fuente: Actas de recepción de obras viales; inventario de equipamiento de movilidad.
  - **Indicador de resultado:** Modal share (participación modal) de viajes en bicicleta y transporte público en la comuna – % de

viajes totales, medido por encuestas de movilidad. Frecuencia: Cada 2 años. Fuente: Encuesta Origen-Destino local simplificada o conteos de tránsito en puntos clave.

- **Indicador de impacto:** Reducción estimada de emisiones GEI del transporte (tCO_2/año) en Santa María respecto a escenario tendencial, gracias a mayor movilidad sustentable. Frecuencia: Cada 2 años. Fuente: Cálculo basado en reducción de kilómetros vehiculares recorridos en auto (a partir de encuestas) y factores de emisión IPCC; validado con datos de consumo de combustibles en la comuna (SEREMI Energía/SEC). **(La meta podría ser, por ejemplo, 10% de reducción de emisiones de transporte al 2030.)**

- **M3. Residuos orgánicos y reciclaje:**
  - **Indicador de proceso:** Toneladas de residuos orgánicos recolectados separadamente y compostados por año; tasa de reciclaje (%) global de la comuna. Frecuencia: Anual. Fuente: Registros municipales de recolección diferenciada; datos de empresa gestora de residuos; reportes a SINIM.
  - **Indicador de resultado:** Reducción en toneladas de residuos municipales enviados a relleno sanitario (comparado con línea base). Frecuencia: Anual. Fuente: Balanzas de relleno (toneladas anuales de basura de Santa María).
  - **Indicador de impacto:** Estimación de emisiones de metano evitadas (tCO_2e/año) por la reducción de disposición de orgánicos en relleno gracias al compostaje. Frecuencia: Anual. Fuente: Cálculo según metodología IPCC de residuos (considerando toneladas compostadas en vez de dispuestas). **(Indica la contribución a la mitigación vía residuos.**
- **M4. Sumideros de carbono (reforestación):**
  - **Indicador de proceso:** Hectáreas reforestadas o forestadas con especies nativas bajo el programa (acumuladas). Frecuencia: Anual. Fuente: Planillas de plantación, verificadas por imágenes satelitales.
  - **Indicador de resultado:** Superficie de bosque nativo comunal conservada (ha) bajo algún instrumento formal (reserva municipal, acuerdos de conservación) vs. línea base. Frecuencia:

Bianual. Fuente: Resoluciones de áreas protegidas municipales; contratos de conservación firmados.

- **Indicador de impacto:** Captura neta de carbono lograda en los sumideros comunales – en toneladas de CO_2 removidas al año por la masa forestal adicional, medidas a año objetivo (ej. 2030). Frecuencia: Cada 5 años. Fuente: Informes técnicos de CONAF o consultores (aplicando factores de crecimiento y sumidero); eventualmente registros en plataformas de carbono si se transan créditos. **(Se espera un aumento progresivo a medida que los bosques crecen, contribuyendo a la meta carbono neutral.)**

- **M5. Prácticas agropecuarias sustentables:**
  - **Indicador de proceso:** Número de productores participantes en el programa (agricultores y ganaderos) y % de superficie agrícola comunal manejada bajo prácticas climáticamente inteligentes. Frecuencia: Anual. Fuente: Listados de participantes de INDAP/PRODESAL; encuestas en terreno sobre técnicas aplicadas.
  - **Indicador de resultado:** Disminución promedio en uso de fertilizantes químicos nitrogenados (kg/ha) entre los predios participantes en comparación con el inicio. Frecuencia: Anual (campaña agrícola). Fuente: Registros de compra de insumos de agricultores (colectados confidencialmente por INDAP); análisis de suelos que indiquen menores excedentes nitrogenados.
  - **Indicador de impacto:** Reducción estimada de emisiones GEI del sector agropecuario comunal (tCO_2e/año), desglosando metano entérico y N_2O de suelos, en relación a la línea base de inventario Frecuencia: Cada 2 años. Fuente: Actualización del Inventario Comunal de GEI con datos nuevos de prácticas (metodología IPCC adaptada a nivel local). **(La disminución de emisiones por fermentación entérica y manejo de estiércol, aunque gradual, indicará el impacto global del cambio de prácticas.)**

Estos indicadores serán incorporados en un sistema de MRV (Monitoreo, Reporte y Verificación) del PACCC, con un responsable designado en el municipio para recopilar datos y emitir reportes de seguimiento cada año.

De esta forma, se podrá hacer seguimiento al progreso de cada medida, introducir ajustes oportunos en su implementación, y reportar a la comunidad y autoridades superiores los avances e impactos logrados. Además, muchos indicadores de resultado e impacto sirven como insumos para evaluar el cumplimiento de objetivos estratégicos comunales y aportes a metas regionales/nacionales (por ejemplo, aportando a las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional en mitigación).

Cada indicador se definió asegurando que sea específico, medible, alcanzable, relevante y con tiempo definido (criterios SMART). También se procuró que sean verificables con fuentes confiables sean registros administrativos, mediciones en terreno o encuestas – para dar transparencia y rigurosidad al monitoreo.

8.3. RESPONSABILIDADES INSTITUCIONALES

Cada línea de acción se asocia a roles institucionales claros, definiendo quién lidera o apoya en la ejecución:

- Agua y Recursos Hídricos (A1, A2): El municipio, a través de Dirección de Obras Hidráulicas, Unidad de Recursos Hídricos o Dirección de Medio Ambiente (DIMAO), lidera las obras y proyectos, en coordinación con la Dirección General de Aguas (DGA) y servicios sanitarios (APR). Comités de agua potable rurales, regantes, agricultores y comunidades participan en mesas hídricas locales y en labores de monitoreo participativo.
- Ecosistemas y Biodiversidad (A3, M4): La Dirección de Medio Ambiente municipal coordina la restauración ecológica, con asesoría técnica de CONAF, MMA o el Ministerio de Agricultura (INDAP) para fincares forestales. Oficinas de planificación territorial incorporan zonas protegidas en el uso de suelo. Organizaciones ambientales locales, juntas de vecinos rurales y propietarios contribuyen como guardaparques voluntarios y voluntarios de plantación.
- •Cobertura Arbórea y Verde Urbano (A4): El Departamento de Medio Ambiente y el Departamento de Aseo y Ornato municipales gestionan viveros y campanas de arborización urbana (con apoyo del programa "Un Millón de Árboles" de CONAF). Juntas de vecinos, centros de

madres y escuelas participan en jornadas de plantación y apadrinamiento de árboles.

- Educación y Sensibilización Climática (A5): Dirección de Medio Ambiente junto a DAEM (educación) articulan talleres y material pedagógico; la Oficina de Organizaciones Comunitarias convoca a vecinos. Profesores, líderes juveniles y miembros del Comité Ambiental comunal actúan como monitores climáticos, impartiendo conocimientos en sus comunidades.
- Gestión de Riesgos (A6, A7): La Dirección de Seguridad Pública o Protección Civil local coordina el plan de alerta temprana con ONEMI; la oficina comunal de emergencia gestiona protocolos con la seremi y BOMBEROS. Los CESFAM/Salud incorporan alertas sanitarias. Comités de emergencia vecinales, cuerpo de bomberos local, voluntarios de Cruz Roja y vecinos organizados conforman brigadas comunitarias de respuesta rápida y vigilancia de incendios.
- Centros de Enfriamiento y Salud (A8): DIDECO y Salud Municipal habilitan y operan refugios climáticos con personal asistencial; Dirección de Obras instala sombras y nebulizadores urbanos. Voluntarios de clubes de adultos mayores, Cruz Roja y líderes vecinales apoyan en la atención y difusión de estos espacios.
- ·Vivienda y Eficiencia (A9, M1): SECPLAC municipal coordina con Serviu los subsidios habitacionales para aislación térmica; la Oficina de Vivienda identifica beneficiarios. Dirección de Medio Ambiente y Departamento Eléctrico municipal lideran mejoras en edificios públicos (paneles solares, cambio a LED), con apoyo de la Seremi de Energía. Juntas de vecinos ayudan a difundir recambio de estufas y postulaciones de aislación.
- Energía (M1): Además de lo anterior, el Ministerio de Energía (Seremi) brinda asesoría técnica a proyectos municipales y financiamiento para renovables. Comercios locales y empresas agrícolas pueden sumarse voluntariamente con acuerdos de eficiencia energética .
- ·Movilidad Sostenible (M2): Dirección de Tránsito y SECPLAC diseñan ciclovías junto al Ministerio de Obras Públicas; coordinan con la Seremi de Transportes para optimizar el transporte publico. Departamento de Medio Ambiente apoya con campanas de educación vial. Ciclistas organizados, grupos juveniles, sindicatos de taxis y vecinos contribuyen con datos de demanda y vigilancia de infraestructura [15] .

- Residuos y Economía Circular (M3): Dirección de Medio Ambiente (Unidad de Residuos) coordina el programa de compostaje y reciclaje, con apoyo logístico de las empresas de aseo concesionadas. Seremi de Medio Ambiente y gobierno regional facilitan asesoría y financiamiento inicial. Recicladores de base, cooperativas locales, colegios y feriantes participan activamente en la separación y compostaje de residuos .
- Agropecuario Sostenible (M5): La Oficina Agrícola Comunal (o PRODESAL/INDAP local) lidera junto con INDAP las capacitaciones a agricultores; el SAG apoya en regulaciones (manejo de rastrojos, quema). Agricultores y ganaderos locales actúan como modelos demostrativos, y comunidades de regantes se benefician de prácticas que reducen contaminación difusa .

En todos los casos, el sector privado puede involucrarse mediante alianzas publico-privadas (por ejemplo, empresas agrarias aportan financiamiento verde; constructoras apoyan proyectos municipales, etc.), tal como promueve la normativa chilena. Esta asignación multiactorial fortalece la gobernanza climática local, asegurando que municipalidades, servicios del Estado, organizaciones sociales y comunidades trabajen en conjunto según sus competencias.

8.4. INDICADORES DE SEGUIMIENTO

Para medir el avance del PACCC y el cumplimiento de objetivos, se recomienda un sistema de indicadores integrado que incluya dimensiones climáticas, socio-ambientales y de participación ciudadana. Siguiendo el Manual CR2, cada medida definirá indicadores de proceso, resultado e impacto . Ejemplos generales:

- Indicadores climáticos (impacto): Proyecciones locales de temperatura media (°C) y de precipitación (mm), frecuencia de eventos extremos (olas de calor, sequías, inundaciones). Por ejemplo, porcentaje de días con temperatura $\geq$35°C comparado con la línea base. O índices de riesgo climático regional (IPCC, MMA).
- Indicadores socio-ambientales (resultado): Reducción de emisiones de GEI comunales (tCO2e/ año) desglosado por sector (energia, transporte, agro); cobertura arbórea urbana (%) y periurbana; volumen

de agua reutilizada (m3/año); índice de calidad del aire (reducción de PM2.5 invernal); toneladas de residuos valorizados (orgánicos compostados y reciclaje total); número de viviendas mejoradas térmicamente; superficie de humedales o áreas protegidas restauradas (ha). Cada indicador tiene meta asociada (ej. aumento del 20% en cobertura arbórea en 5 años) y se mide periódicamente.

- Indicadores de proceso (gestión): Cantidad de proyectos ejecutados según cronograma (p. ej. sistemas de reuso instalados, número de talleres educativos realizados, señalización de ciclovías construida), porcentaje de presupuesto ejecutado, número de capacitaciones comunitarias, etc.
- Indicadores de participación ciudadana: Número de personas capacitadas o involucradas en actividades climáticas (talleres, simulacros), % de hogares que implementan prácticas sustentables (p. ej. encuestas de uso de reciclaje o eficiencia energética); existencia de comités municipales de cambio climático y frecuencia de reuniones; evaluación de satisfacción comunitaria. Por ejemplo: participantes en talleres divididos por sexo y edad, progresos en género (se involucró al 50% de mujeres en comisiones).

Estos indicadores deben reportarse regularmente (por ej. semestral o anual) al municipio y a la comunidad. Es útil definir un responsable municipal (unidad de medio ambiente o similar) que recoja datos y publique informes de seguimiento. Como señala la guía PACCC, se sugiere un sistema MRV (Monitoreo, Reporte y Verificación) donde los resultados finales informen el logro de metas estratégicas y aporten a metas regionales/nacionales. Así, se puede ajustar el plan en base a evidencia, manteniendo transparencia y aprendizaje colectivo.

8.5. FUENTES DE FINANCIAMIENTO

Las principales fuentes identificadas incluyen fondos públicos nacionales y regionales, más alianzas publico-privadas:

- FNDR (Fondo Nacional de Desarrollo Regional): Convocatorias para proyectos hídricos, forestales, movilidad sustentable y riesgo (p. ej. obras de recarga acuífera, cortafuegos, ciclovías)

- Subdere: Programas de seguridad hídrica, eficiencia municipal (tecnologías limpias en edificios), mejoramiento de barrios (infraestructura verde en plazas, centros de enfriamiento) .
- Ministerio del Medio Ambiente: Fondos de Protección Ambiental para iniciativas comunitarias (p. ej. reuso de agua, educación ambiental); programas de restauración ecológica; fondos de reciclaje y economía circular para compostaje comunal .
- Gobierno Regional (GORE): Subvenciones para áreas verdes urbanas, equipamiento de bomberos, programas de prevención de incendios; proyectos de energía renovable o electrificación según agendas regionales.
- Sectorial: Subvenciones del Ministerio de Energía (Comuna Energética, recambio de calefactores); Comisión Nacional de Riego (CNR) y Banco Mundial (GEF) para infraestructura hídrica; Ministerio de Agricultura (FIA) para innovación en agricultura sustentable o ganadería baja en emisiones; convenios con servicios de Salud para adaptación al calor.
- Cooperación internacional: Programas de cambio climático (p.ej. Fondo Verde del Clima, UNDP, ONU Medio Ambiente) para proyectos pilotos locales.
- Alianzas publico-privadas: Incentivos a empresas locales para reducir huella hídrica (Certificado Azul, agrocadena), patrocinios de compañías en arborización urbana (créditos de carbono voluntarios por reforestación) o donaciones de tecnologías (ej. paneles solares o climatizadores). Participación del sector privado en responsabilidad social (fundaciones ecológicas, donaciones de equipos) .

En conjunto, el plan busca integrar fuentes diversificadas y alineadas con las prioridades locales, tal como recomienda la institucionalidad ambiental chilena. Identificar plazos de postulación (congresos regionales, plazos SUBDERE, etc.) será clave para garantizar financiamiento en cada fase del cronograma.

8.6. ENFOQUES TRANSVERSALES: EQUIDAD DE GÉNERO, PARTICIPACIÓN CIUDADANA Y TERRITORIALIDAD

El PACCC de Santa María integra de manera transversal los enfoques de género, participación ciudadana y territorialidad, reconociendo que la acción climática efectiva debe ser inclusiva y adecuada a la realidad local en toda

su diversidad. A continuación se destaca cómo estos principios se han incorporado en la formulación e implementación de las medidas:

- **Equidad de género:** Todas las acciones del plan fomentan la participación equitativa de mujeres y hombres, y consideran las distintas formas en que el cambio climático les afecta. Por ejemplo, en los **Comités y brigadas comunitarias** (medidas A6 y A7) se promueve el liderazgo de mujeres, empoderándolas como agentes de prevención de desastres, en línea con recomendaciones internacionales que señalan que la participación de las mujeres es fundamental para gestionar eficazmente el riesgo de desastres. En los programas de capacitación (A5, M5), se garantiza cupos equitativos y horarios flexibles para facilitar la asistencia de cuidadoras de hogar u otras mujeres con cargas de trabajo. Las intervenciones en viviendas (A9) priorizan hogares vulnerables encabezados por mujeres (reconociendo que suelen tener menos recursos para adaptarse) y mejoran condiciones que reducen, por ejemplo, la carga de trabajo doméstico (casas más cálidas implican menos recolección de leña, labor que en zonas rurales a veces recae en mujeres). Asimismo, el lenguaje y las imágenes utilizadas en la difusión del PACCC son inclusivos, presentando tanto a mujeres como hombres en roles activos climáticos, para desafiar estereotipos y motivar la involucración de todos los géneros en las soluciones climáticas.

- **Participación ciudadana:** El PACCC nació de un proceso participativo (cabildos, talleres del Manual CR2) que involucró a la comunidad en la identificación de riesgos, la definición de la visión y la priorización de medidas. Esa esencia participativa continúa en la implementación: muchas medidas contemplan instancias de cogestión con la comunidad. Por ejemplo, la arborización (A4) y restauración ecológica (A3) se realizan con voluntarios locales, generando sentido de pertenencia en los nuevos bosques. La educación climática (A5) forma monitores ambientales entre los propios vecinos, transformándolos en difusores activos. En movilidad sostenible (M2), las soluciones de ciclovías se diseñarán con insumos de los usuarios mediante consultas vecinales. Además, se crean espacios formales de participación como la **Mesa Agrícola Climática** (M5) o la **Mesa Hídrica** (A2), institucionalizando la voz de agricultores, regantes y otros actores en la toma de decisiones. Esta participación no solo aumenta la legitimidad y pertinencia de las acciones, sino que potencia su éxito:

ciudadanos informados y empoderados cooperan en el cumplimiento de las metas climáticas (por ejemplo, separando sus residuos, cuidando los árboles plantados, usando las ciclovías), convirtiéndose en protagonistas de la acción loca. El enfoque participativo también asegura la transparencia – con la comunidad monitoreando avances a través de comités ambientales comunales u observatorios ciudadanos donde se comparten públicamente los indicadores de seguimiento
.

- **Territorialidad (enfoque territorial rural/urbano**): Santa María es una comuna con zonas urbanas consolidadas y una extensa ruralidad (localidades agrarias, cordillera pre-andina). El PACCC reconoce esta heterogeneidad territorial, diseñando acciones específicas para distintos contextos. En sectores rurales, se focalizan medidas como la gestión del agua de riego (A2), la agricultura sustentable (M5) y la prevención de incendios forestales (A7), atendiendo las necesidades productivas y de paisaje de esas áreas. En cambio, en la zona urbana (cabecera comunal), se priorizan medidas de adaptación urbana como los centros de enfriamiento (A8), la movilidad urbana sustentable (M2) y la mejora de viviendas (A9) que responden a problemáticas propias de la ciudad (isla de calor, congestión, contaminación intradomiciliaria). Algunas iniciativas tienen alcance mixto: por ejemplo, la educación climática y campañas se despliegan en escuelas rurales y urbanas, adaptando los contenidos a cada realidad (en zonas campesinas se enfatiza manejo del agua y saberes locales, en la ciudad se enfatiza consumo energético, residuos, etc.). Igualmente, la restauración de ecosistemas (A3) abarca desde la alta cordillera hasta la ribera del río en el valle, asegurando representatividad territorial. Este enfoque territorial se refleja también en la distribución equitativa de inversiones: el cronograma contempla alternar proyectos en la ciudad y en el campo para que los beneficios climáticos lleguen a todas las localidades por igual. De esta forma, el PACCC mantiene pertinencia espacial, atacando los riesgos donde ocurren (e.g., incendios en interfaz rural, inundaciones cerca del río) y aprovechando las oportunidades propias de cada zona (e.g., potencial solar en áreas despejadas rurales, mayor participación en actividades comunitarias en pueblos pequeños, etc.).

En suma, los enfoques de género, participación y territorialidad están entrelazados en la estructura del PACCC. El plan no es un conjunto de acciones técnicas aisladas, sino un proceso socialmente inclusivo y

descentralizado: incorpora la diversidad de voces (hombres, mujeres, jóvenes, adultos mayores, sectores productivos, zonas geográficas) tanto en el diseño como en la ejecución y evaluación de las medidas. Esto asegura que la acción climática comunal sea justa, legítima y efectiva, maximizando la cohesión social en torno al desafío climático. Santa María, a través de este PACCC, no solo busca reducir su vulnerabilidad y emisiones, sino hacerlo fortaleciendo el tejido social y la gobernanza local, elemento clave para la sostenibilidad en el tiempo.

8.7. GOBERNANZA, SEGUIMIENTO Y ACTUALIZACIÓN

Para asegurar la implementación eficaz del PACCC se propone una estructura de gobernanza climática comunal participativa y transversa. En general, se recomienda conformar un Comité Gestor Climático Municipal integrado por representantes de las principales unidades municipales (Medio Ambiente, Obras, Seguridad, Educación, Salud, DIDECO, etc.), así como actores de la sociedad civil (COMITES VECINALES, juntas de vecinos, organizaciones productivas y ONG locales). Este Comité sesionaría periódicamente (ej. trimestralmente) para revisar avances, coordinar acciones intersectoriales y consolidar el reporte de resultados.

- Periodicidad de revisión: Se sugiere revisar el plan cada 1–2 años de forma formal, adaptando medidas y metas según nuevos datos climáticos o necesidades emergentes. La Ley Marco de Cambio Climático implica que los PACCC deben alinearse con la Estrategia Climática de Largo Plazo; así, cada revisión debe valorar la contribución local a metas nacionales (p.ej. neutralidad 2050). Un ciclo de revisión integral podría coincidir con períodos municipales (cada 4 años) o con procesos de planificación estratégica comunal.
- Mecanismo de reporte: Se recomienda un informe anual de avance que se presente al Concejo Municipal y se difunda públicamente (páginas web municipales, boletines) para transparencia. Dicho reporte incluiría los indicadores clave (de proceso, resultado, impacto) ya definidos. Además, se pueden organizar audiencias ciudadanas anuales o semestrales donde técnicos municipales expliquen los resultados y recojan feedback de la comunidad. Estas instancias fomentan la rendición de cuentas y mantienen informada a la población sobre el progreso y desafíos del PACCC.

- Participación ciudadana continua: Más allá de talleres puntuales, el plan contempla fortalecer redes comunitarias de monitoreo –p.ej. los monitores climáticos vecinales del A5– que sean enlaces activos con el gobierno local. Estas redes, junto con el Comité Climático, permitirán que las comunidades influyan en la actualización del plan (sugiriendo ajustes o nuevas acciones) y colaboren en la recolección de datos para los indicadores. Según especialistas en gobernanza, un monitoreo participativo potencia la transparencia y la democracia, ofreciendo a la comunidad mayor control sobre su resiliencia local.

En síntesis, el esquema de gobernanza busca articular esfuerzos públicos y locales: definiendo liderazgos claros dentro del municipio, asegurando espacios regulares de coordinación con la ciudadanía, e integrando los resultados del seguimiento en la toma de decisiones municipales [18] [19]. Esto fortalece la legitimidad del PACCC y promueve su actualización dinámica conforme evoluciona el contexto climático.

8.8. MONITOREO PARTICIPATIVO, EDUCACIÓN Y COMUNICACIÓN AMBIENTAL

El monitoreo participativo del plan se orienta a involucrar a la comunidad en la evaluación continua de las medidas. Se recomienda lo siguiente:

- Herramientas de monitoreo comunitario: Emplear métodos sencillos (encuestas vecinales, registros fotográficos, mapeos participativos, fichas de observación) que permitan a voluntarios y comités evaluar indicadores locales. Por ejemplo, escuelas pueden medir sombras en plazas, brigadistas rurales registrar fauna, familias usar cuadernos de registro sobre uso de agua, etc. Es clave co-crear estas herramientas con la comunidad para asegurar que respondan a intereses locales .
- Instancias educativas: Continuar las jornadas formativas del A5 (talleres, charlas en colegios, ferias ambientales) pero vinculándolas al monitoreo: enseñar a los vecinos qué indicadores seguir y cómo reportar avances. Incorporar educación ambiental en el currículo local (proyectos escolares en torno a cambio climático) fortalece este aspecto. Así, la ciudadanía no solo accede a información, sino que participa en la generación de datos sobre su propio entorno (aprendizaje- acción). Este enfoque participativo del monitoreo

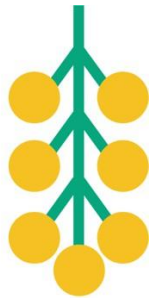
enriquece la gobernanza climática: “El monitoreo puede ayudar a las autoridades a mejorar su gestión, a la vez que facilita la democracia, la transparencia y la participación”.

- Comunicación continua: Se aconseja establecer canales de comunicación permanentes (redes sociales municipales, boletines barriales, paneles informativos en ferias) para difundir indicadores de seguimiento, alertas climáticas y buenas prácticas en lenguaje ciudadano. Publicar regularmente infografías con los avances del PACCC (por ejemplo, árboles plantados, litros de agua ahorrados) genera credibilidad. Incluir historias locales de éxito (testimonios de agricultores que adoptaron biogás o familias que redujeron gasto eléctrico) motiva a más ciudadanos a participar.
- Evaluación participativa: Cada cierto tiempo (ej. cada 2 años) organizar talleres de retroalimentación con vecinos donde se presenten resultados del PACCC (indicadores clave) y se recojan sugerencias. En estos espacios se pueden ajustar colectivamente metas o agregar nuevas acciones según los aprendizajes acumulados. Este proceso de “monitoreo-reflexión- acción” refuerza la apropiación social del plan y mejora las decisiones, conforme al carácter dinámico de la planificación climática local..

En síntesis, la metodología de seguimiento participativo procura empoderar a la comunidad como aliada del municipio. A través de educación continua y comunicación bidireccional, se genera una cultura de corresponsabilidad climática: los ciudadanos se informan y colaboran activamente, mientras las autoridades transparentan información y responden a las inquietudes locales. Esto asegura que el PACCC sea un proceso vivo, con aprendizaje permanente y adaptaciones consensuadas, camino a la resiliencia comunitaria .

CAPÍTULO 9: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES





Los estudios previos del PACCC de Santa María destacan que la comuna es altamente vulnerable a los efectos del cambio climático. Aunque la contribución local a las emisiones globales es baja, se proyecta un aumento de eventos extremos (olas de calor, lluvias intensas, sequías) que exacerbarán riesgos en la agricultura, el abastecimiento hídrico y la salud de los habitantes. El Atlas de Riesgo Climático muestra que muchos sistemas productivos y poblaciones locales enfrentan impactos negativos crecientes. Asimismo, el cambio climático ya se refleja en elevadas temperaturas, lluvias concentradas y sequías más severas, generando aluviones, incendios forestales y estrés hídrico.

Las emisiones de gases de efecto invernadero en la comuna provienen principalmente del uso de combustibles fósiles en transporte y actividad agrícola, aunque sus magnitudes son modestas en términos absolutos. Sin embargo, los hallazgos señalan la oportunidad de reducirlas a través de prácticas de eficiencia energética e innovación en el riego.

En cuanto a los riesgos, destacan los incendios forestales en áreas periurbanas, la escasez de agua potable en verano y la baja permeabilidad de suelos que agrava inundaciones en episodios de lluvia intensa. También se identifican riesgos sanitarios por olas de calor y la posibilidad de migraciones climáticas de campesinos si las cosechas se ven muy afectadas.

Respecto a las capacidades institucionales, la municipalidad muestra voluntad política aunque enfrenta limitaciones de recursos humanos y técnicos (muchos funcionarios “honorarios”) que dificultan la planificación climática. Se observa que la acción local depende fuertemente del liderazgo del alcalde y de la disponibilidad de financiamiento, repitiéndose el patrón nacional de brechas en recursos y competencias municipales. Sin embargo, existen fortalezas: iniciativas ambientales previas (por ejemplo, certificación ambiental SCAM, proyectos universitarios) han otorgado cierta experiencia y acceso a recursos externos para la comuna .

La participación ciudadana fue significativa en el proceso de formulación del PACCC; instancias como Comités Ambientales Comunales, talleres territoriales, buzones ciudadanos y mesas de trabajo facilitaron la construcción colectiva del diagnóstico y de las medidas propuestas. No obstante, se identifica la necesidad de profundizar estos espacios para lograr mayor pertinencia y legitimidad social del plan, así como de involucrar

activamente a grupos vulnerables (campesinos, pueblos originarios, mujeres rurales) en futuras etapas.

9.1. RECOMENDACIONES ESTRATÉGICAS

Para consolidar la implementación del PACCC en Santa María se proponen acciones prioritarias agrupadas por horizonte temporal:

·Corto plazo (1–2 años): Fortalecer la gobernanza municipal climática creando una mesa interdepartamental (incluyendo salud, obras, desarrollo comunitario, educación) que monitoree el plan. Capacitar al personal municipal en herramientas climáticas nacionales (Atlas de Riesgo Climático, Huella Chile). Incentivar prácticas inmediatas de ahorro energético y eficiencia hídrica en edificios públicos y comunidades (por ejemplo, sistemas de riego tecnificado) para generar resultados tangibles. Además, mantener y ampliar los canales de participación (p.ej. CAC) para validar las acciones y difundir conocimientos.

· Mediano plazo (3–5 años): Integrar las medidas del PACCC en los instrumentos de planificación local (PLADECO, planes reguladores, programa municipal de educación) y buscar su financiamiento. Consolidar alianzas con universidades (p.ej. universidades regionales, centros de investigación) para desarrollar proyectos de adaptación (como gestión de cuencas o energía solar) y monitoreo ambiental. Promover la diversificación económica sostenible (turismo ecológico, agricultura orgánica resistente al clima) mediante incentivos y capacitación a productores. Además, establecer un Fondo comunal de acción climática financiado con recursos municipales y externos para apoyar emprendimientos verdes locales (seguros paramétricos contra sequía, reforestación).

· Largo plazo (>5 años): Revisar periódicamente el PACCC incorporando nuevos datos climáticos y logros alcanzados. Impulsar inversiones significativas en infraestructura resiliente (almacenamiento de agua, protección de cuencas, mejoramiento de viviendas para condiciones extremas). Avanzar hacia la carbono-neutralidad local con planes de transición energética (electromovilidad municipal, energía solar en edificios públicos) y manejo sustentable de suelos. Consolidar una cultura organizacional municipal con enfoque ambiental (oficinas verdes, presupuesto participativo climático). Estas acciones deben alinearse con metas nacionales de descarbonización y resiliencia.

En todos los plazos, se sugiere mantener una revisión participativa anual del PACCC con la comunidad para ajustar estrategias y priorizar proyectos emergentes. Además, generar campanas de comunicación periódicas que destaquen logros locales y promuevan la corresponsabilidad ciudadana.

9.2. GOBERNANZA CLIMÁTICA LOCAL

Para mejorar la gobernanza climática en Santa María es clave integrar a diversos actores y niveles. Se recomienda reconocer y visibilizar a los actores locales –municipio, juntas de vecinos, organizaciones ambientales, cooperativas agrícolas– como agentes fundamentales en la acción climática.. Se propone conformar un Consejo Comunal de Cambio Climático donde participen el alcalde, concejo municipal, líderes vecinales, empresas agrícolas y centros educacionales, garantizando perspectiva de género e inclusión de grupos vulnerables.

Además, fortalecer la coordinación interinstitucional a través de puntos focales permanentes entre el municipio, la Intendencia (Gobierno Regional), Seremi del Medio Ambiente, y servicios públicos (Agricultura, Vivienda, Educación). Esto permite articular la implementación del PACCC con programas sectoriales y acceder a recursos. La experiencia chilena muestra que la participación en redes climáticas (p.ej. Pacto Global de Alcaldes) facilita apoyo técnico y financiero , por lo que se aconseja adherir a dichas redes y aprovechar espacios de intercambio de buenas prácticas. Internamente, la participación ciudadana debe mantenerse activa: los Comités Ambientales Comunales y encuentros territoriales fomentan la legitimidad social del plan y ayudan a identificar problemas reales .

En síntesis, la gobernanza local debe ser multinivel y colaborativa, promoviendo un liderazgo municipal comprometido y la creación de redes colaborativas locales (entre municipalidad, sociedad civil y sector privado) como estrategia para movilizar recursos y conocimiento .

9.3. FINANCIAMIENTO CLIMÁTICO Y ALIANZAS ESTRATÉGICAS

La implementación del PACCC requerirá recursos variados; se recomienda una estrategia de financiamiento diversificado. Esto incluye fuentes municipales (presupuesto comunal verde, presupuestos participativos enfocados al clima), así como fondos regionales y nacionales (p.ej. Fondo de Adaptación del MMA, Subdere, fondos concursal de obras públicas

resilientes). También se sugiere cooperación internacional: PNUD, ONU Medio Ambiente y fondos globales (Green Climate Fund, Fondo Verde del Clima) ofrecen oportunidades para proyectos de mitigación y adaptación en comunas vulnerables .

Las alianzas estratégicas serán clave: se debe articular con universidades (CR2, universidades regionales), centros técnicos (INIA, ODEPA) y ONGs ambientales para acceder a asistencia técnica y casos de estudio. En el ámbito privado, instar a empresas agrícolas y termales a invertir en proyectos conjuntos (p.ej. eficiencia hídrica compartida). La experiencia internacional señala que la acción climática local exige "acción conjunta de sociedad civil, sector privado, instituciones financieras, gobierno nacional y local". En este sentido, se recomienda explorar mecanismos como bonos verdes municipales o convenios publico-privados para infraestructura resiliente.

Finalmente, promover alianzas intercomunales (acuerdos con municipios vecinos) puede optimizar recursos y generar sinergias, por ejemplo compartiendo costosos estudios de riesgo climático o programas educativos. También conviene la articulación con redes de municipalidades y la AChM para coordinar iniciativas climáticas a escala metropolitana/sectorial.

9.4. EDUCACIÓN, COMUNICACIÓN Y CULTURA CLIMÁTICA

La educación y la comunicación son ejes transversales que potencian la efectividad del PACCC. Se debe impulsar la educación ambiental y climática en las escuelas, capacitando a docentes y adaptando el currículum para generar conciencia temprana. Como señala la UNESCO, "la educación sobre el cambio climático ayuda a que las personas comprendan y enfrenten sus repercusiones, dotándolas de los conocimientos y valores necesarios para actuar como agentes del cambio". Programas municipales de educación verde, talleres comunitarios y alianzas con Centros de Educación Técnica pueden fomentar habilidades en mitigación y adaptación.

En cuanto a comunicación, se recomienda campanas constantes que traduzcan información científica en mensajes claros (boletines municipales, radio local, redes sociales). La cultura climática también se fortalece mediante la incorporación de expresiones culturales locales: festivales o eventos culturales con contenidos sobre clima pueden concientizar y motivar

cambios de comportamiento. Los conocimientos tradicionales de agricultores de Santa María son un recurso valioso que debe integrarse en las estrategias de adaptación (por ejemplo, saberes sobre sistemas de riego ancestrales).

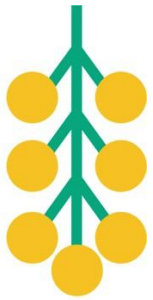
En suma, fomentar una cultura climática implica vincular las medidas del PACCC con la vida cotidiana de la gente. La UNESCO destaca que las expresiones culturales y creativas pueden sensibilizar al publico y movilizar a la comunidad hacia la acción climática. Por ello, cada iniciativa técnica del PACCC (nueva tecnología de riego, plan de prevención de incendios, etc.) debe acompañarse de difusión social que genere conciencia y participación ciudadana informada.

9.5. CONCLUSIÓN FINAL:

El Plan de Acción Comunal de Cambio Climático de Santa María, con las medidas detalladas, el cronograma establecido, los indicadores de seguimiento definidos y la integración de enfoques transversales, constituye una hoja de ruta concreta y participativa hacia la resiliencia climática local. Cada medida priorizada ha sido diseñada para ser realizable (considerando las capacidades y recursos comunales), coherente con la planificación estratégica existente (PLADECO, políticas sectoriales) y colaborativa, requiriendo del esfuerzo mancomunado del municipio, la comunidad, entidades públicas y aliadas. De esta manera, Santa María se encamina a convertirse en la comunidad resiliente y baja en carbono que su visión estratégica propone, aportando también a los compromisos globales frente al cambio climático desde la escala local.

CAPÍTULO 10: BIBLIOGRAFÍA





BIBLIOGRAFÍA:

1. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2). (2024). *La acción climática a nivel local en Chile: panorama a tres años de la Ley Marco de Cambio Climático*. Universidad de Chile. https://www.cr2.cl
2. Ministerio del Medio Ambiente. (2022). *Guía metodológica para la elaboración de Planes de Acción Comunal de Cambio Climático*. Gobierno de Chile.
3. Ministerio del Medio Ambiente. (2023). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Chile 1990-2020*. Gobierno de Chile.
4. Ministerio del Medio Ambiente & PNUD Chile. (2022). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático*. https://mma.gob.cl
5. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2021). *Gobiernos locales y acción climática en Chile: contexto y mensajes clave*. https://www.undp.org/climate
6. Pacto Global de Alcaldes por el Clima y la Energía – América Latina. (2024). *Guía para el financiamiento climático local*. https://pactodealcaldes-la.org
7. UNESCO. (s.f.). *Educación sobre el cambio climático*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. https://www.unesco.org/es/climate-change/education
8. UNESCO. (s.f.). *Cultura y acción por el clima*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. https://www.unesco.org/es/mondiacult/culture-and-climate-action
9. Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). (2020). *Mapa de amenazas geológicas Región de Valparaíso*. Gobierno de Chile.
10. Instituto Nacional de Estadísticas (INE). (2017). *Censo 2017*. https://www.censo2017.cl
11. Dirección Meteorológica de Chile (DMC). (2024). *Base de datos climáticos históricos y proyecciones 2020-2050*. https://www.meteochile.gob.cl
12. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN). (2023). *Perfil comunal de Santa María*. https://www.bcn.cl/siit/nuestropais
13. Municipalidad de Santa María. (2025). *Resultados del Taller Participativo PACCC Santa María*. Documento interno.
14. Comisión Nacional de Energía (CNE). (2023). *Estadísticas energéticas comunales*. https://www.cne.cl
15. CONAF. (2023). *Catastro de recursos vegetacionales nativos*. Ministerio de Agricultura.

16. Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). (2023). *Especies en categoría de conservación*. https://www.sag.cl

17. Dirección General de Aguas (DGA). (2023). *Balance hídrico nacional*. Ministerio de Obras Públicas.

18. Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE). (2022). *Manual de financiamiento para proyectos municipales*. Gobierno de Chile.

19. Fundación Terram. (2022). *Gobernanza ambiental en municipios chilenos: desafíos y oportunidades*. https://www.terram.cl

20. Observatorio de Gobierno Local – UC. (2023). *Gestión ambiental local en Chile: brechas y oportunidades*. Pontificia Universidad Católica de Chile.

21. Instituto Nacional de Derechos Humanos (INDH). (2022). *Vulnerabilidad socioambiental y cambio climático en Chile*. https://www.indh.cl

22. Ministerio de Energía. (2022). *Comuna Energética – Herramientas de apoyo para gobiernos locales*. Gobierno de Chile.

23. Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. (2021). *Plan de movilidad urbana sostenible (PMUS)*. Gobierno de Chile.

24. ONU Medio Ambiente. (2021). *Ciudades resilientes: instrumentos para la planificación climática local*. PNUMA.

25. Plataforma HuellaChile. (2023). *Guía para la gestión local de emisiones de GEI*. Ministerio del Medio Ambiente. https://huellachile.mma.gob.cl

26. Evans, K., Marchena, R., Flores, S., Pikitle, A., & Larson, A. M. (2016). *Guía práctica para el monitoreo participativo de gobernanza*. CIFOR.

27. United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (2015). *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030*. https://www.undrr.org

28. Gobierno Regional de Valparaíso (GORE). (2023). *Estrategia Regional de Desarrollo de Valparaíso 2020-2030*. Gobierno Regional.

29. Ministerio de Desarrollo Social y Familia. (2023). *Mapa de Vulnerabilidad Socioeconómica y Cambio Climático*. Gobierno de Chile.

30. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). (2023). *Manual de planificación urbana y cambio climático*. Gobierno de Chile.

31. Dirección de Presupuestos – DIPRES. (2024). *Clasificador presupuestario verde: criterios climáticos en inversión pública*. Gobierno de Chile.

32. Municipalidad de Santa María. (2024). *Plan de Desarrollo Comunal (PLADECO) 2024-2028*. Ilustre Municipalidad de Santa María.