



UNIVERSIDAD DE CHILE
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Escuela de Pregrado
Carrera de Geografía

PROPUESTA DE INDICADOR DE CALIDAD CLIMÁTICA PARA LA CIUDAD DE ARICA

Proposal of climatic quality indicators for the city of Arica.

Memoria para optar al título de Geógrafo

JORGE SOTO SALAS

Profesora Guía: Dra. Pamela Smith Guerra

SANTIAGO – CHILE

2023

RESUMEN

El clima de las ciudades es un tema relevante para las sociedades y cada vez más debido al cambio climático. Este fenómeno que ocurre a escala global provoca alteraciones significativas a los patrones del clima global, así como también en el local. El aumento de temperaturas, olas de calor más intensas y frecuentes, inundaciones, son algunas de las consecuencias del cambio climático que afectan la calidad de vida en las áreas urbanas. Estos efectos se pueden percibir como inevitables, pero hay oportunidades en la planificación urbana, teniendo una perspectiva más integral de los eventos climáticos, donde se pueden proponer lineamientos de planificación sensible al clima. En este contexto, el indicador de calidad climática aparece como una propuesta que busca integrar varias variables climático-ambientales para evaluar la calidad climática de la ciudad, dando la oportunidad de identificar las áreas más expuestas a los perjuicios de un mal clima.

Dicho lo anterior, la presente investigación busca evaluar la calidad climática de la ciudad de Arica, identificando estrategias de intervención en sectores con baja calidad dentro del marco de la planificación sensible al clima, en el contexto de los efectos adversos provocados por el cambio climático y la entrada en vigor de la Ley N°21.455 Marco Cambio Climático. Para ello, se construyó y aplicó un indicador de calidad climática en una ciudad, costera, intermedia y árida, Arica. Para llevar a cabo lo anterior, se utilizó una metodología cuantitativa a través de la aplicación de una encuesta a expertos quienes otorgaron pesos a las variables climática-ambientales para la construcción del indicador, donde la variable temperatura atmosférica fue la que más peso tuvo en el indicador. Respecto a la construcción del indicador, se formaron imágenes que representen las variables utilizadas y ellas se integraron en una evaluación multicriterio. Luego de la aplicación del indicador de calidad climática en el sector urbano de Arica, se identificaron las áreas más expuestas a los diversos escenarios. Finalmente, a través de metodología cualitativa relacionada a la búsqueda y análisis bibliográfico, se propusieron diversas medidas de adaptación para ser aplicadas en el instrumento de planificación de la comuna (Plan Regulador Comunal).

Palabras claves: Calidad Climática, Variables Climático-Ambientales, Planificación Sensible al Clima

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas las personas que me acompañaron en este proceso, brindándome ayuda en múltiples formas, entendiéndome, aconsejándome y sobre todo dándome ánimos.

Gracias:

A mi profesora guía en este proceso, la Dra. Pamela Smith Guerra, quien siempre estuvo dispuesta darme guía cada vez que la necesitaba. Por los comentarios que me inspiraban sabiduría y me ayudaron a superar varias trabas que encontraba en el camino.

A mi familia que también ha estado acompañándome en este proceso:

A mi madre Claudia que me ha enseñado, desde muy temprano, que la educación me podría brindar un camino para formar una vida más virtuosa, sin importar los medios que tuvimos en un inicio, siempre inculco el valor de la educación. Su pensamiento crítico, adaptabilidad y coraje que me enseñó los valores sociales con los que llegue a simpatizar.

A mi padre Jorge que siempre brinda humor a situaciones cotidianas, tranquilidad al caos, manteniendo siempre un balance en las actividades tanto educativas como recreacionales. Su presencia constante a pesar de la distancia y sus valores que me ha compartido en el camino.

A mi hermana Camila, mi compañera y amiga la mayor parte de mi vida, comprensiva, cariñosa, empática y una mano de ayuda siempre que lo necesité.

Mi hermano Carlos, que me ha animado en este proceso, aunque no nos veamos seguido la intención es se valora un montón.

Mis abuelas, mis tíos, primos, que me han apoyado a su manera cada uno de ellos.

A mis amigos:

A Leonardo por ser un gran apoyo en momentos de estrés, que me ha brindado gran ayuda para terminar este proceso académico.

A Allan por su ayuda desinteresada y su apoyo en este proceso.

A Matías y Trinidad por su constante acompañamiento en estos años de la carrera. Y a aquellos como Cristóbal que me acompañaron en un principio.

Y a todos los que han estado en este proceso, que les tengo gran estima y no alcanzo a mencionar.

INDICES

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN	9
1.1 Introducción	9
1.2 Planteamiento del problema y Estado del asunto	12
1.2.1 Planteamiento del problema	12
1.2.2 Estado del Asunto	15
1.3 Área de estudio	26
1.3.1 Aspectos climáticos de Arica	28
1.3.2 Instrumentos de planificación territorial de Arica.....	29
1.4 Objetivos	29
1.4.1 General	29
5.2.3 Específicos.....	29
CAPÍTULO 2: MARCO METODOLÓGICO	30
2.1 Selección de Variables y su Peso.....	32
2.1.1 Revisión Bibliográfica y selección de variable para el instrumento.	32
2.1.2 Construcción de Encuesta a expertos.	33
2.1.3 Elección de Expertos.....	34
2.1.4 Procesamiento de datos.	34
2.1.5 Selección y Asignación de peso de las variables.	35
2.2 Construcción de indicador	36
2.2.1 Obtención de variables para el cálculo del indicador.....	36
2.2.2 Obtención a partir del procesamiento de Imágenes Satelitales	37
2.2.3 Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).....	37
2.2.4 Índice de Diferencia Normalizada Construida (NDBI).....	38
2.2.5 Temperatura superficial.....	38
2.2.6 Sensores (Ibutton)	40
2.2.7 IDE	41
2.2.8 Complementación de datos sin componente espacial	41
2.3 Estandarización de variables para la evaluación multicriterio.....	42
2.3.2 Humedad relativa	45
2.3.3 Distancia a cuerpos de Agua	45

2.3.5 NDBI	46
2.3.6 Calidad del Aire	46
2.3.7 Velocidad del viento.....	46
2.4 Propuesta de lineamientos para planificación sensible al clima	47
2.4.1 Revisión y recopilación bibliográfica	47
2.4.2 Cruce indicador calidad climática y plan regulador comunal	47
CAPÍTULO 3: RESULTADOS	49
3.1 Construcción del Indicador.....	49
3.1.1 Influencia de las variables climático-ambientales sobre la calidad climática.	49
3.1.2 Jerarquización de variables.....	52
3.2 Calidad Climática en la ciudad de Arica.....	54
3.1.3 Evaluación distintos escenarios de temperatura.	55
3.1.4 Evaluación de variables sin componente espacial.....	59
3.3 Propuestas de planificación sensible al clima para la ciudad de Arica.....	64
3.3.1 Propuestas que consideran lineamientos de planificación sensible al clima en ciudades áridas.	65
3.3.2 Instrumentos de ordenamiento y planificación territorial de la comuna de Arica con consideraciones climáticas.	66
3.3.3 Propuestas de medidas de adaptación climática para la ciudad de Arica.....	70
CAPÍTULO 4: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	80
4.1 Discusión	80
4.1.1 Construcción del instrumento.....	80
4.1.2 Indicador de calidad climática.....	80
4.1.3 Cambio climático e instrumentos de planificación territorial	83
4.2 Conclusiones.....	85
5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	87
6 ANEXOS.....	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de parámetros Objetivos y Subjetivos.....	17
Tabla 2: Alcances y actores relacionados a los instrumentos de planificación territorial....	26
Tabla 3: Lista Instrumentos de Planificación Territorial de Arica.	29
Tabla 4: Motores de búsqueda.....	32
Tabla 5: Variables para construir el indicador de calidad climática.....	33
Tabla 6: Escala de importancia absoluta.	35
Tabla 7: Ejemplo de Matriz normalizada.	36
Tabla 8: Nivel de calidad climática expresado cuantitativa y cualitativamente.....	43
Tabla 9: Escenarios de temperatura evaluados en el indicador.	44
Tabla 10: Valores de quiebre para reclasificación de temperatura atmosférica y superficial.	44
Tabla 11: Humedad promedio por nombre de y numeración ID.....	45
Tabla 12: Niveles de emergencia por MP2,5.	46
Tabla 13: Posición promedio de la variable según escenario de ciudad de clima árido.....	49
Tabla 14: Posición promedio de la variable según escenario de ciudad de tipo costera.	49
Tabla 15: Posición promedio de la variable según escenario de ciudad de tipo mediana.	50
Tabla 16: Promedio de posición ordinal entre las variables.	50
Tabla 17: Nivel de relación entre las variables. Fuente: Elaboración propia, 2023.	52
Tabla 18: Valores asignados a las variables según la importancia relativa indicada por los Expertos.....	53
Tabla 19: Peso porcentual evaluando 6 variables.....	53
Tabla 20: Peso porcentual evaluando 8 variables.....	54
Tabla 21: Propuestas de lineamientos de planificación sensible al clima para ciudades áridas.....	66
Tabla 22: Instrumentos de Gestión propuestos por la Ley N°21.455.....	68
Tabla 23: Instrumentos de ordenamiento y planificación territorial vigentes en la comuna de Arica y riesgos climáticos.	69
Tabla 24: Iniciativas por dirección comunal, subdimensión y distrito.....	70
Tabla 25: Acciones según medida propuesta para Línea de Acción “Instrumentos de Planificación Territorial y normas urbanas”.....	72

Tabla 26: Propuestas de medidas de adaptación por Zona del PRC y su valor de calidad climática.....	75
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Integración de temas de cambio climático en Evaluación Estratégica Ambiental.	21
Figura 2: Secuencia para incorporar la adaptación en las fases de la EAE para los instrumentos de planificación y ordenamiento territorial.....	22
Figura 3: Secuencia para incorporar la mitigación en las fases de la EAE para los instrumentos de planificación y ordenamiento territorial de nivel regional.	23
Figura 4: Esquema de la estructura de las políticas públicas de incidencia territorial.	24
Figura 5: Niveles de acción e instrumentos de planificación territorial asociados.	25
Figura 6: Cartografía del Área Urbana de Arica 2022.	27
Figura 7: Precipitación anual de Arica, Estación de Chacalluta, periodo 1963-2023. Fuente: Elaboración propia en base a Dirección Meteorológica de Chile, 2023.	28
Figura 8: Esquema metodológico de investigación.....	31
Figura 9: Cartografía de Calidad Climática en Arica para el año 2021.	55
Figura 10: Cartografía de Calidad Climática para Temperatura Diurna Promedio en Arica para el año 2021.....	56
Figura 11: Cartografía de Calidad Climática para Temperatura Máxima medida en Arica para el año 2021.....	57
Figura 12: Cartografía de Calidad Climática en Escenario de Ola de Calor en Arica para el año 2021.	58
Figura 13: Cartografía de Calidad Climática en Escenario de Aumento de Temperaturas en Arica para el año 2065.....	59
Figura 14: Cartografía de Calidad Climática en escenario de Viento Calmo en Arica para el año 2021.	60
Figura 15: Cartografía de Calidad Climática en Escenario de Viento Confortable en Arica para el año 2021.....	61
Figura 16: Cartografía de Calidad Climática en Escenario de Alerta por MP2,5 en Arica para el año 2021.....	62

Figura 17: Cartografía de Calidad Climática en Escenario de Preemergencia por MP2,5 en Arica para el año 2021.....	63
Figura 18: Cartografía de Calidad Climática en Escenario de Emergencia por MP2,5 en Arica para el año 2021.....	64
Figura 19: Objetivos, ejes estratégicos y líneas de acción del Plan Adaptación al Cambio Climático para Ciudades.....	71
Figura 20: Cartografía de zonas del PRC y Calidad Climática actual en Arica.....	73
Figura 21: Cartografía de zonas del PRC y Calidad Climática futura en Arica.	74
Figura 22: San José ZM1.....	75
Figura 23: Parque Lauca ZM1	76
Figura 24: Diferentes tipos de pavimentos permeables.....	77
Figura 25: Pedro Blanquier ZR2	78
Figura 26: Azapa y Las torres ZR3-A	78
Figura 27: Ciudades con color blanco en fachadas.	79

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN

1.1 Introducción

Las ciudades se han convertido en la principal forma de habitar en el mundo y Latinoamérica no es la excepción. Las cifras muestran que más del 70% de la población es urbana. La situación anterior se agudiza en Chile, donde la población urbana llega hasta el 87,7% (INE, 2017) y se proyecta que, a futuro, esta cifra aumente aún más. Este crecimiento implica una respuesta de la infraestructura de la ciudad, teniendo que adaptarse para soportar un mayor número de habitantes, lo que se traduce en edificaciones en alturas, crecimiento hacia las periferias, implicando cambios de usos de suelo, impermeabilización o pavimentación de suelos naturales, entre otros. Estos crecimientos aumentan el impacto que tienen las ciudades sobre el medio ambiente, como por ejemplo en su temperatura, pues la pavimentación e impermeabilización de suelos naturales cambia las interacciones entre elementos a microescala, tales como, la interacción del aire con la superficie impermeable y con superficies vegetales, la reflexión de la radiación en cañones urbanos, las emisiones de calor antrópico, entre otros. Donde estas situaciones también afectan y se ven afectadas entre sí, otorgando complejidad al clima en el tejido urbano (Romero *et al*, 2010) y, derivando en un impacto en la calidad de vida de las personas (Mercado, 2021).

Todo lo mencionado anteriormente, se relaciona con el concepto de calidad ambiental urbana, refiriéndose en específico a la calidad climática (Scudo & Dessi 2006; De Castro, Aljawabra & Nikolopoulou, 2008). El concepto de calidad climática propuesto por Bitan (1992) incluye diversos parámetros con el fin de trabajar con ellos para tener un impacto positivo en el diseño de la ciudad, como la correcta ventilación, los derechos de sombra en verano y de sol invierno, entre otros. Por tanto, la importancia de la calidad climática radica en la consideración de las variables climáticas para planificar la ciudad (Bitan, 1992). No obstante, debido a la geomorfología, estructura urbana y criterios urbanísticos de cada contexto geográfico, los niveles de calidad climática no son homogéneas (Danni-Oliveira, 2000).

Por otra parte, en el contexto del cambio climático y sus efectos como las olas de calor, pérdida de flora y fauna, alteración en el ciclo del agua, marejadas, sequías y aluviones, y sus impactos en la disminución de disponibilidad de agua, afectación en la seguridad alimentaria y los riesgos para la salud de la población, sumando sus obligaciones internacionales – Acuerdo de París 2020 - (Ministerio de Medio Ambiente, 2023a), el día 13 de junio del año 2022 en Chile se promulga la Ley N°21.455 “Marco Cambio Climático” donde se señalan una serie de indicaciones, normas y obligaciones, con el fin de que tomar medidas de adaptación y mitigación, para reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia a los efectos adversos que ha provocado al cambio climático.

Es por este escenario complejo que al estudiar el clima de la ciudad resulta relevante la construcción de indicadores que permitan integrar los distintos factores incidentes en la calidad climática de las urbes, para que expliquen su comportamiento, aportando a su entendimiento, optimización y espacialización, como lo realizado por Henríquez *et al.* (2016), Smith (2018) y Smith & Henríquez (2021).

Por ello, la presente investigación busca **evaluar la calidad climática de la ciudad de Arica, identificando estrategias de intervención en sectores con baja calidad dentro del marco de la planificación sensible al clima**, para contribuir a la operacionalización de la calidad climática en una ciudad de carácter intermedia a través instrumentos de medición in situ y de teledetección, ya que esta última herramienta permite obtener una cobertura de fuentes de datos espectrales y temporales de los procesos medioambientales a diversas escalas y de modo integrador (Chuvienco, 1992). Para ello, se aplicó una metodología de tipo mixta; en relación con los métodos cuantitativos, estos se utilizaron para determinar las variables climáticas-ambientales y sus respectivos pesos para la construcción del indicador, esto realizado por medio de la aplicación de una encuesta a expertos en la temática. Luego de construido el indicador, este fue aplicado a una ciudad intermedia y árida, Arica, espacializando aquellos sectores con alta, regular y baja calidad climática según diversos escenarios.

Para los métodos cualitativos, principalmente, se realizó una revisión y análisis bibliográfico para obtener una solución a los posibles problemas climáticos encontrados previamente por el indicador, lo que necesita de medidas que puedan dar lineamientos para una buena solución a los de problemas de calidad climática identificados. Principalmente, se hace un análisis de la Ley N°21.455 Marco Cambio Climático, debido a la obligación de incorporar consideraciones ambientales a los instrumentos de planificación territorial como la aplicación de medidas de mitigación y adaptación en los territorios (Biblioteca del Congreso Nacional, 2022).

La selección del área de estudio se realizó revisando el Atlas de Riesgo Climático, en el cual señalaba que la comuna de Arica se presenta como una de las ciudades mayormente amenazada por el Discomfort Térmico, valorando según el Índice Humidex con en 0,9793 (Ministerio de Medio Ambiente, 2020), lo que implique que en la actualidad y en el futuro se presente como una de las ciudades más riesgosas con respecto a este indicador. Por otra parte, el PLADeco 2021 – 2030 de la comuna señala que las condiciones climáticas tienen un predominio desértico, caracterizado por no presentar precipitaciones y mantener una temperatura cálida de promedio 18°, lo que deriva en una baja amplitud térmica anual (Secretaría Comunal de Planificación, 2021). A esto se suma que, las áreas urbanas ubicadas en zonas áridas son especialmente afectadas por temperaturas altas, y en el caso de que las temperaturas aumenten, esto puede provocar problemas de salud en la población más graves.

Respecto a los resultados obtenidos en esta investigación, las variables más importantes en el estudio del clima urbano son, temperatura atmosférica, temperatura superficial y cobertura vegetal, otorgando mayor peso para la construcción del indicador de calidad climática. Al aplicar este indicador se puede destacar que, en la situación actual, la calidad regular es el nivel de calidad que más se presenta en Arica. En relación a la planificación sensible al clima, las medidas de adaptación propuestas son la utilización de material poroso para estacionamientos, crear parches de árboles con baja exigencia hídrica y utilizar colores blancos en las coberturas o fachadas de casas, para aplicar a los instrumentos de planificación y ordenamiento territorial de la comuna.

Finalmente, cabe mencionar que la relevancia geográfica de la presente investigación es la que los resultados pueden utilizarse como un insumo para la Municipalidad de Arica, para la incorporación de medidas en el Plan Regulador Comunal, así como también para otras comunas de la zona norte.

1.2 Planteamiento del problema y Estado del asunto

1.2.1 Planteamiento del problema

Las ciudades se han convertido en la principal forma de habitar en el mundo y, Latinoamérica no es la excepción. Las cifras muestran que más del 70% de la población es urbana. La situación anterior se agudiza en Chile, donde la población urbana llega hasta el 87,7% según los datos del Censo INE del año 2017, aumentando en un 2% desde el 2002, y se proyecta que, a futuro, esta cifra aumente aún más.

Este crecimiento porcentual implica una respuesta de la infraestructura de la ciudad, teniendo que adaptarse para soportar un mayor número de habitantes, por lo que esta debe crecer igualmente; hay dos maneras en la que la ciudad experimenta este crecimiento, una es de manera vertical y la otra en sentido horizontal. La expansión vertical hace referencia a tener más edificaciones de altura, lo que se traduce en una mayor densidad poblacional y, por otro lado, el crecimiento horizontal se refiere al cambio de usos de suelos, generalmente en las periferias, cambiando los suelos naturales, agrícolas o forestales por territorio urbanizado. Estos crecimientos aumentan el impacto que tienen las ciudades sobre el medio ambiente, como por ejemplo en su temperatura, pues la pavimentación e impermeabilización de suelos naturales cambia las interacciones entre elementos a microescala, tales como, la interacción del aire con la superficie impermeable y con superficies vegetales, la reflexión de la radiación en cañones urbanos, las emisiones de calor antrópico, entre otros. Donde estas situaciones también afectan y se ven afectadas entre sí, otorgando complejidad al clima en el tejido urbano (Romero *et al*, 2010).

En este sentido, el clima urbano se entiende como las perturbaciones al clima local preexistentes a la instalación de la ciudad, y se puede medir a través de aquellos parámetros que cambian las condiciones fisicoquímicas del aire, como lo son la temperatura, humedad, concentración de contaminantes, entre otros (Stewart & Oke, 2012).

El clima de las ciudades, como mencionan Stewart & Oke (2012), se caracteriza por tener un fenómeno bastante característico, que es el de las Islas de Calor Urbano (ICU). Este fenómeno es una perturbación del clima local que se describe como la diferencia de temperatura entre la ciudad y su entorno natural o no urbanizado, que resulta en que la ciudad sea más cálida que el ambiente natural que le rodea.

Este es un fenómeno que ha sido estudiado a través de los años, y se han encontrado diversos efectos que pueden calificarse entre positivos y negativos dependiendo del contexto en que se evalúe. Por ejemplo, en invierno puede ayudar a mitigar las bajas temperaturas haciéndolas más cálidas como efecto positivo y, por el contrario, en verano puede aumentar las

temperaturas que ya son altas de por sí en la época, como ejemplo de un efecto negativo. La situación se agudiza entendiendo el contexto global, considerando el calentamiento global dentro de la ecuación, esto logra que aumente la magnitud de este fenómeno. Henríquez *et al.* (2020) señalan que las ICUs pueden afectar la salud de las personas, y si el fenómeno aumenta en intensidad o su extensión, puede llegar a afectar nuevas áreas de la ciudad, aumenta el factor de riesgo en la población, incidiendo en el confort o desconfort térmico.

La variación de la temperatura producida por las ICUs no es igual en toda la ciudad, puesto que esto dependerá de varios factores como puede ser la morfología de la ciudad, la materialidad de las construcciones, geometría de las calles, presencia de áreas verdes, orden y disposición de las edificaciones, entre otras (Oke, 1987), así como también de sus funciones, como pueden ser actividades industriales y vehículos motorizados (Madelener & Sunak, 2011 en Palme *et al.*, 2019). Estas diferencias en la morfología cambian las condiciones ambientales a nivel local, lo cual da lugar a microclimas urbanos y generan un panorama más diverso y complejo en las ciudades, no solo en la temperatura, sino que también genera distintas condiciones en la contaminación del aire, acceso a áreas verdes, y/o porcentaje de humedad.

Como consecuencia de lo anterior se generan algunos impactos en la calidad de vida de las personas, como por ejemplo situaciones de desconfort térmico. El desconfort térmico es definido como aquella situación en que una persona se ve expuesta a una temperatura que genera molestia, desde una incomodidad pequeña hasta problemas en la salud, llegando a ser severos como un golpe de calor o incluso sufrir un infarto (Bustamante, 2009).

Este suceso es preocupante principalmente en temporadas de primavera y verano, ya que conlleva a que algunos grupos de población deban recurrir a gastos extras para poder enfriar sus hogares de manera artificial, a través de usos de aire acondicionado. No obstante, esto es solo una medida puertas adentro, por lo que los espacios públicos no se ven beneficiados, incluso peor, en sectores donde hay cañones urbanos con altas edificaciones, aumenta el calor antropogénico y los gases de efecto invernadero, así contaminando el aire, lo que deriva en un impacto en la calidad de vida de las personas (Mercado, 2021). Por ello, se han estudiado varias estrategias sobre cómo mitigar estas temperaturas, y se ha reconocido como una de las medidas principales el aumento de áreas verdes.

La vegetación en áreas verdes es muy importante para las ciudades, pues ofrece servicios como son el limpiar el aire, bajar la temperatura, aumentar la humedad, entre otros (Romero *et al.*, 2010). No obstante, los efectos del cambio climático en las precipitaciones y temperaturas han provocado un estrés hídrico, que disminuye la presencia de coberturas vegetales, además de aumentar el gasto económico para la mantención de estas (Thomas, 2022). A pesar de lo anterior, existen otros factores importantes en términos climáticos para

las ciudades como la correcta ventilación, sombras en verano, derechos a horas de sol en invierno (Bitan,1992).

Todo lo mencionado anteriormente, se relaciona con el concepto de calidad ambiental urbana, refiriéndose en específico a la calidad climática (Scudo & Dessi 2006; De Castro, Aljawabra & Nikolopoulou, 2008). La importancia de la calidad climática radica en la consideración de las variables climáticas para planificar la ciudad (Bitan, 1992). No obstante, debido a la geomorfología, estructura urbana y criterios urbanísticos de cada contexto geográfico, los niveles de calidad climática no son homogéneas (Danni-Oliveira, 2000).

Es por este escenario complejo que al estudiar el clima de la ciudad resulta relevante la construcción de indicadores que permitan integrar los distintos factores incidentes en la calidad climática de las urbes, para que expliquen su comportamiento, aportando a su entendimiento, optimización y espacialización, como lo realizado por Henríquez *et al.* (2016), Smith (2018) y Smith & Henríquez (2021), donde en estos dos últimos trabajos se proponen lineamientos de planificación sensible al clima. Ello debido a que la importancia de la calidad climática radica en la consideración de las variables climáticas para planificar la ciudad (Bitan, 1992).

Siguiendo lo realizado por Smith (2018) y Smith & Henríquez (2021), cabe señalar que ambos estudios se aplicaron en ciudades intermedias, debido a que comúnmente los estudios de clima urbano se dan en las grandes urbes, sin considerar que las ciudades medias han tenido un crecimiento urbano en una magnitud similar a las metrópolis (Smith, 2018). Aunque aún no existe un consenso en la definición o parámetros para determinar las ciudades medias, en la literatura se coincide, por un lado, en que los individuos tienen acceso a servicios o equipamientos sin tener que recorrer tantas distancias y, por otro lado, en que son sistemas más sostenibles y la planificación urbana puede presentarse más eficiente (López, 2008; Bellet & Llop, 2004). Sin embargo, en Chile las urbes intermedias se caracterizan por replicar ciertas particularidades de las grandes ciudades como segregación espacial, problemas ambientales y procesos de periurbanización (Maturana, 2015).

Por ello, la presente investigación busca contribuir a la operacionalización de la calidad climática en una ciudad de carácter intermedia a través de la teledetección, ya que esta herramienta permite obtener una cobertura fuentes de datos espectrales y temporales de los procesos medioambientales a diversas escalas y de modo integrador (Chuvieco, 1992). Además, luego de la entrada en vigor de la Ley N°21.455 Marco Cambio Climático, que señala en su artículo 43° la obligación de incorporar consideraciones ambientales a los instrumentos de planificación territorial deja en evidencia la relevancia de entender el comportamiento del clima para la aplicación de medidas de mitigación y adaptación en los territorios (Biblioteca del Congreso Nacional, 2022).

De este modo, la pregunta de investigación a resolver es

¿Cuál es la calidad climática de Arica? y ¿Qué medidas se pueden definir teniendo en consideración los contextos morfológicos y climáticos para los instrumentos de planificación urbana?

1.2.2 Estado del Asunto

La importancia de la calidad climática en los estudios climatológicos es la valoración del espacio de la ciudad (sobre todo espacio público) con respecto al clima en general, puesto que generalmente se estudia el clima como un concepto fragmentado, es decir, solo la temperatura, solo contaminación del aire, con fines a corto plazo. Por ello, la calidad climática propone una integración más compleja (en términos de integración de variables), para que la ciudad se evalúe en más de una dimensión.

En este sentido, el concepto de calidad climática sirve para comparar algunos indicadores, pues permite entender que, ciertos espacios, pueden estar bien provistos en una dimensión, pero en otras están en desventaja, es decir, con una mala calidad climática.

Por ende, los principales conceptos que se desprenden son: calidad climática, confort térmico, planificación sensible al clima e instrumentos de planificación territorial.

1.2.2.1 Calidad Climática

El concepto de calidad climática tiene un origen con Bitan (1992), cuya investigación trataba la idea de ¿cuál es el modelo de ciudad que debemos seguir? Teniendo en consideración el parámetro climático ambiental que se usa para la gestión del clima en la ciudad, calidad del aire o contaminación atmosférica. Entendiendo que este parámetro, es importante gestionarlo dentro de la ciudad y tiene un efecto importante en la salud de los ciudadanos, no es el único que debería ser tomado en cuenta. Por ello propone que el concepto calidad climática también debe incluir otros parámetros que pueden tener un impacto positivo en el diseño de la ciudad, como la correcta ventilación, los derechos de sombra en verano y de sol invierno, entre otros.

Tomando esta idea, Alcoforado (2006) hace un recorrido por diversos autores para definir los parámetros de “calidad climática”, de modo que considera las ideas propuestas por Landsberg (1973), quién propuso una ciudad utópica para gestionar las decisiones urbanísticas para optimizar climáticamente la ciudad, opciones que variaban desde el diseño, orden y materialidad. También recoge los aportes de Bitan (1992) y visita las propuestas de Mills (2003, 2006), donde habla acerca de cómo debería ser la ciudad utópica, llegando a la conclusión de que el objetivo que se debería perseguir en la actualidad es llegar a ser una ciudad sustentable. De este modo, propone un esquema de gestión para la planificación de la ciudad, considerando ciertos pasos metodológicos como la recolección de información climática, para así poder llegar a ser sustentable. En este estudio trabaja como área de estudio

la ciudad de Lisboa, Portugal, por lo que se hace necesario tomar algunas consideraciones para aplicarse aquí pues los marcos normativos son diferentes.

En Chile, primeramente, Henríquez *et al* (2018) proponen un indicador de calidad climático-ambiental, aplicado en dos ciudades, Chillán y Antofagasta. El indicador propuesto integra dos parámetros, la temperatura superficial y la vegetación.

Luego se desarrolla una investigación también en Chile, realizada por Smith (2018) y Smith & Henríquez (2021). En la primera investigación se usa como conceptos principales tanto el confort térmico como la calidad climática. Mientras que la segunda solo se trabaja el concepto de calidad climática. No obstante, ambas investigaciones se aplican en la ciudad de Chillán. Estos estudios suman más variables para la construcción del indicador, sumando así un total de 7, los cuales son: Temperatura superficial y atmosférica, Porcentaje de superficie impermeable, Porcentaje de cobertura vegetal, Humedad relativa del aire, Relación altura de edificación con ancho de calle, Distancia a cursos de agua y Calidad del aire.

1.2.2.2 Confort térmico

La literatura acerca del confort térmico se ha desarrollado ampliamente a través de distintas áreas del conocimiento, dentro de estas se pueden encontrar la climatología, la arquitectura, bio-meteorología, y en las últimas décadas han aumentado sus estudios.

El confort térmico está dentro de la definición de confort ambiental, que se entiende como el rango de condiciones aceptables del entorno en el que las personas desarrollan sus actividades (Bustamante, 2009). Aunque la sensación térmica es una de las dimensiones más frecuentemente usadas para medir el confort de las personas, esta puede ser usada individualmente o también junto con otras variables climático- ambientales.

Analizando una amplia cantidad de índices de confort térmico y ordenándolos cronológicamente, Potcher *et al.* (2018) indica que el desarrollo de índices en un inicio fue para determinar el confort y desconfort por estrés térmico, específicamente a altas temperaturas, es decir, se crearon índices que eran para medir el desconfort por calor. Luego se crearon índices de confort que eran para determinar el desconfort térmico por frío. Y, en las últimas cuatro décadas, se han creado indicadores para poder ser aplicados a ambos escenarios.

El confort térmico se ha medido y entendido como indicador exclusivamente físico y fisiológico, según lo planteado por Mohamed (2016), donde se tomaba en consideración el intercambio térmico que tenía una persona con el ambiente. Y de acuerdo con las instituciones British Standards BS EN ISO 7730 (2013) y ASHRAE (2009), definen el confort térmico como el estado de mente que expresa satisfacción con el ambiente que le rodea.

Añadiendo estas dimensiones, se puede ver que el confort térmico tiene una componente Física, Fisiológica y Psicológica. En la Tabla N°1 se puede apreciar cómo se comprenden los parámetros, en esta tabla están agrupados por tipo de parámetro objetivo y subjetivo, donde Smith (2018), clasifica a los parámetros objetivos en las categorías de: ambientales, meteorológicos y fisiológicos. Mientras que para los subjetivos, añade la dimensión psicológica, que se mencionó anteriormente, y adicionalmente integra los elementos de comportamiento, como fenómeno más bien cultural.

Parámetros Objetivos	Ambientales	Topografía / Altitud / Latitud / Longitud / Coberturas Superficiales
	Meteorológicos	Temperatura / Viento / Humedad / Radiación Solar
	Fisiológicos	Edad / Género / Salud / Temperatura Corporal / Temperatura (frente y manos) / Ritmo Cardíaco / Sudoración / Ritmo de Escalofríos
Parámetros Subjetivos	Comportamiento (culturales)	Rango de actividad humana / Indumentaria / Costumbres / Hábitos patrones alimenticios / Descanso / Tiempo laboral
	Psicológicos	Adaptación / Aclimatización / Preferencias / Expectativas / Aceptabilidad / Habitabilidad

Tabla 1: Clasificación de parámetros Objetivos y Subjetivos.

Fuente: Smith, 2018 en base a Thabaz, 2011.

1.2.2.3 Planificación Sensible al Clima

Según la revisión de Henríquez (2014), sobre los informes de las Naciones Unidas, se indica que la población urbana ha estado en crecimiento y que estos a medida que creces, concentran la población y también las actividades económicas, lo que hace que las ciudades experimenten un crecimiento acelerado, provocando la ocurrencia de problemas ambientales, debido a falta de información científica para gestionar dichos procesos de urbanización (Informe de Naciones Unidas, 2001).

Además, se espera que aumente el crecimiento de megaciudades, pero no precisamente por los países que actualmente poseen la mayor cantidad de población urbana. Los países desarrollados, que poseen $\frac{3}{4}$ partes de la población urbana, se estima que comiencen una desaceleración en el crecimiento. Pero, para los países que están en vías de desarrollo o aquellos subdesarrollados, se prevé que estos aumenten en cantidad de población, lo que implica que se enfrentan a este escenario, es decir, una urbanización, probablemente, acelerada, contando con menores recursos para abordar este crecimiento en comparación a los países desarrollados (Henríquez, 2014).

Adicionalmente se agrega que, como las grandes ciudades seguirán creciendo, estos exijan más recursos y energía del medioambiente, además de que hace y hará más difícil la

reducción de la contaminación y de los problemas ambientales. Esto provoca que ciudades de tamaño medio y pequeña, asistan en estas dinámicas de provisión de recursos y energía a las grandes ciudades (Henríquez, 2014).

Por estos desequilibrios es que se han promulgado estrategias para el desarrollo sustentable de las ciudades, que permitirá enfrentar problemas sobre las externalidades negativas que generan las ciudades sobre el ambiente, así como también mejorar la calidad de vida dentro de las ciudades.

Teniendo en consideración los avances que se han hecho al respecto, aún es una gran dificultad tener medidas concretas que sean sustentables a lo largo del tiempo, debido a los nuevos desafíos que van teniendo las ciudades, como el cambio climático.

El incremento de la temperatura es una preocupación en las ciudades, pues estas perciben una temperatura mayor que sus ambientes naturales adyacentes, fenómeno que conocemos con isla de calor urbana, y con el cambio climático, se espera que las temperaturas afecten aún más las ciudades. Considerando lo anterior, podemos agregar que la totalidad de ciudades en Chile han experimentado un crecimiento en estas últimas décadas, por lo que han incidido en la aparición tanto de ICUs, como también el aumento de contaminantes del aire y degradación de paisajes naturales (Romero *et al.*, 2010).

También con el cambio climático, se ha percibido y experimentado un aumento en la ocurrencia de fenómenos meteorológicos más extremos, como aludes, tormentas, olas de calor, inundaciones, entre otros. Esto queda en evidencia con las variaciones microclimáticas dentro de las ciudades, donde se puede apreciar que existe una variedad en el tejido urbano, ya sea por presencia de cuerpos de agua, elementos morfológicos, cambios en el uso de suelo, lo que genera un paisaje heterogéneo dentro de la ciudad.

El clima impacta directa o indirectamente sobre la salud de las personas y su calidad de vida (Nikolopoulou & Lykoudis, 2006), entonces lo que experimentan dentro de la ciudad, más las actividades, pueden hacer variar el confort, dependiendo donde se encuentren y de las condiciones microescalares en la que se encuentre.

Por tanto, entender desde la perspectiva global los sucesos climáticos, sumando la perspectiva de las personas, logra dar un abanico de oportunidades y maneras de gestionar el clima en la planificación de la ciudad y en el diseño de espacios públicos confortables a sus ciudadanos.

Según lo que recopila Letelier (2020, pp. 18-19) de Oke (2017) ante la pregunta ¿Qué hace que una ciudad esté bien planificada y diseñada desde una perspectiva climática?

La ciudad es eficiente en el uso de recursos (tierra, materiales energéticos, agua, etc.) para minimizar su impacto global y regional (por

ejemplo, emisión de contaminantes del aire y gases de efecto invernadero, degradación del agua, generación de residuos).

Los vecindarios de la ciudad están diseñados para mejorar los microclimas que rodean los edificios y sus alrededores (o al menos no empeorarlos).

Las personas y la infraestructura están protegidas de los fenómenos meteorológicos extremos al considerar la variabilidad climática actual y futura.

1.2.2.3.1 Ley de Cambio Climático y planificación territorial en Chile

Ante los efectos del cambio climático como las olas de calor, pérdida de flora y fauna, alteración en el ciclo del agua, marejadas, sequías y aluviones, y sus impactos en la disminución de disponibilidad de agua, afectación en la seguridad alimentaria y los riesgos para la salud de la población, sumando sus obligaciones internacionales – Acuerdo de París 2020 - (Ministerio de Medio Ambiente, 2022), el día 13 de junio del año 2022 en Chile se promulga la Ley N°21.455 “Marco Cambio Climático” donde se indica en el Artículo 1° que:

La presente ley tiene por objeto hacer frente a los desafíos que presenta el cambio climático, transitar hacia un desarrollo bajo en emisiones de gases de efecto invernadero y otros forzantes climáticos, hasta alcanzar y mantener la neutralidad de emisiones de gases de efecto invernadero al año 2050, adaptarse al cambio climático, reduciendo la vulnerabilidad y aumentando la resiliencia a los efectos adversos del cambio climático, y dar cumplimiento a los compromisos internacionales asumidos por Estado de Chile en la materia.

En este sentido, el Artículo 43° hace relación directa en lo que refiere a la planificación del territorio y la incorporación del cambio climático en los Instrumentos de Planificación Territorial, señalando:

Los instrumentos de ordenamiento y planificación territorial incorporarán consideraciones ambientales del desarrollo sustentable relativas a la mitigación y adaptación al cambio climático, las que se evaluarán mediante la Evaluación Ambiental Estratégica, cuyo informe final deberá ser favorable para continuar su tramitación.

Además, se profundiza en este artículo la obligatoriedad que tendrá la aplicación de esto y el actor encargado de realizar la guía sobre el modo de aplicarla.

El Ministerio del Medio Ambiente elaborará una guía de Evaluación Ambiental Estratégica para incorporar el cambio climático en los instrumentos de planificación territorial, cuya aplicación será de carácter obligatorio.

Dicho lo anterior, el 05 de enero del presente año, el Ministerio de Medio Ambiente aprueba y publica esta guía, lo que implica su entrada en vigor. De tal modo que a continuación se desglosarán sus lineamientos y alcances en los instrumentos de planificación territorial.

1.2.2.3.2 Guía de Evaluación Ambiental Estratégica para incorporar el cambio climático en los Instrumentos de Ordenamiento y Planificación Territorial

La presente guía se basa en dos conceptos definidos por la Ley Marco de Cambio Climático, mitigación y adaptación, que se definen como:

- *Adaptación al cambio climático: acción, medida o proceso de ajuste al clima actual o proyectado o a sus efectos en sistemas humanos o naturales, con el fin de moderar o evitar los daños, reducir la vulnerabilidad, aumentar la resiliencia o aprovechar las oportunidades beneficiosas.*
- *Mitigación: acción, medida o proceso orientado a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y otros forzantes climáticos, o restringir el uso de dichos gases como refrigerantes, aislantes o en procesos industriales, entre otros, o a incrementar, evitar el deterioro o mejorar el estado de sumideros de dichos gases, con el fin de limitar los efectos adversos del cambio climático.*

De esta manera, la presente Evaluación Ambiental Estratégica proporciona una orientación para modificar e integrar las consideraciones ambientales para estimar implicancias, fines y criterios sobre mitigación y adaptación al cambio climático en los instrumentos de ordenamiento y planificación territorial, a través de fases metodológicas presentadas en la Figura N°1.

Como se aprecia en la Figura N°1, se proponen 4 fases metodológicas para aplicar las consideraciones ambientales en los instrumentos de planificación territorial, asimismo señala que estas deben aplicarse para las medidas de adaptación y mitigación al cambio climático. Por consiguiente, se establecerán los lineamientos específicos para cada una de esas acciones.

CONTEXTO Y ENFOQUE			DIAGNÓSTICO AMBIENTAL ESTRATÉGICO	EVALUACIÓN Y DIRECTRICES		SEGUIMIENTO
¿Cómo poner en marcha el proceso de EAE?	¿Qué se debe conocer?	¿Cómo se focaliza en lo estratégico?	¿Cuáles son las tendencias?	¿Cuáles son las opciones y sus implicancias?	¿Cuáles son las medidas?	¿Cómo acompañar los resultados de la EAE?
<ul style="list-style-type: none"> Problema de decisión Objeto de evaluación Objetivos de planificación 	<ul style="list-style-type: none"> Marco del problema Marco de referencia estratégico (MRE) Marco de gobernabilidad Necesidades de participación Objetivos ambientales (OA) Criterios de desarrollo sustentable (CDS) 	<ul style="list-style-type: none"> Priorización de temáticas ambientales y de sustentabilidad Factores críticos de decisión Marco de evaluación estratégica 	<ul style="list-style-type: none"> Caracterización y tendencias de los FCD 	<ul style="list-style-type: none"> Opciones de desarrollo Evaluación de efectos ambientales 	<ul style="list-style-type: none"> Medidas de gestión, planificación y gobernabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> Criterios e indicadores de eficacia y rediseño Indicadores de seguimiento de medidas
Cambio climático: conocer el contexto y las condiciones del cambio climático que inciden en las decisiones de planificación		Cambio climático: integrado en los FCD y en el MEE	Cambio climático: uso de indicadores de mitigación y adaptación	Cambio climático: las OD consideran las causas y consecuencias del CC		Cambio climático: indicadores de seguimiento y rediseño con temáticas de cambio
Análisis de emisiones y capturas de GEI en el territorio	Priorización de temas relacionados a emisiones y capturas de GEI en el territorio	Integración de temáticas de mitigación a los FCD y MEE	Análisis del comportamiento y tendencias de las emisiones y capturas de GEI en el territorio	Estrategias que permitan reducir o capturar emisiones de GEI	Propuesta de medidas de mitigación	Monitoreo de objetivos y medidas sobre mitigación al CC
Identificación de riesgos climáticos	Priorización de riesgos climáticos	Integración de temáticas de adaptación a los FCD y MEE	Análisis del comportamiento y tendencia del riesgo en el territorio (vulnerabilidad amenazas, exposición)	Estrategias que permitan reducir los riesgos climáticos	Propuesta de medidas de adaptación	Monitoreo de objetivos y medidas sobre adaptación al CC
¿Cómo reducir las emisiones y/o aumentar las capturas de GEI del territorio?						
¿Cómo adaptarse a los efectos del CC en el territorio?						

Figura 1: Integración de temas de cambio climático en Evaluación Estratégica Ambiental.
Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2023.

1.2.2.3.3 Medidas de Adaptación al Cambio Climático

Para las medidas de adaptación se proponen 6 pasos a seguir, para proponer medidas de adaptación a través del estudio, priorización y caracterización de los riesgos climáticos y con ellos determinar los indicadores que van a monitorear estas medidas. En la Figura N°2 se presentan los 6 pasos a seguir según fase metodológica propuesta por la Evaluación Ambiental Estratégica.

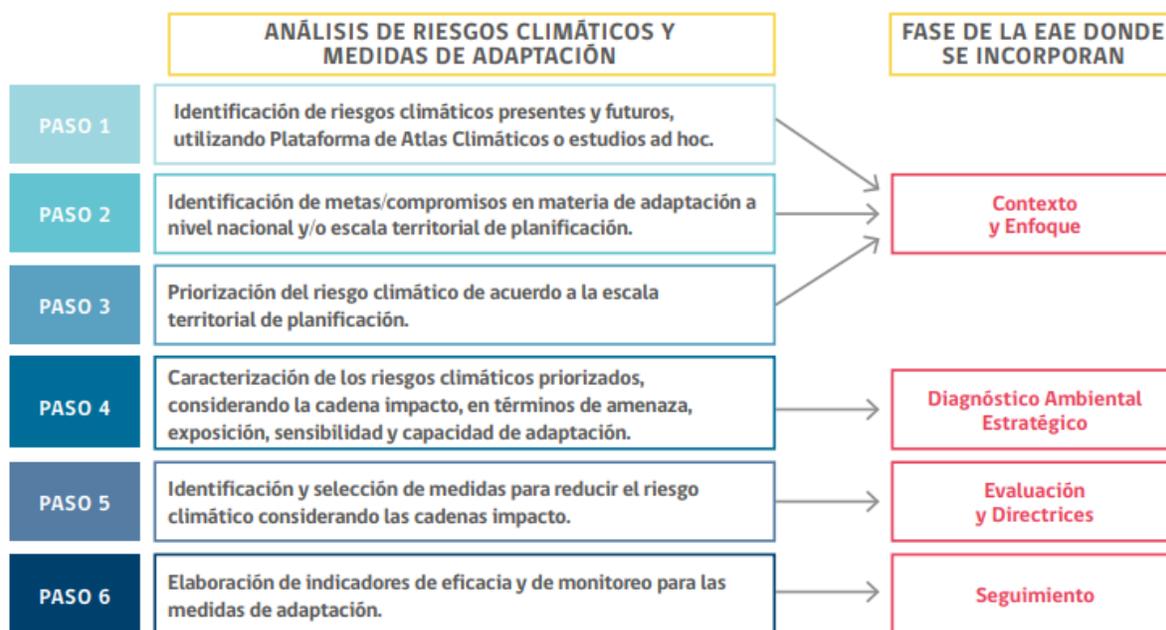


Figura 2: Secuencia para incorporar la adaptación en las fases de la EAE para los instrumentos de planificación y ordenamiento territorial.

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2023.

1.2.2.3.4 Medidas de Mitigación al Cambio Climático

Para las medidas de mitigación se proponen 6 pasos a seguir, al igual que las medidas de adaptación, para establecer la prioridad de los riesgos climáticos y con ello construir o proponer las medidas de adaptación para cada uno de ellos, así como los indicadores que medirán estas medidas. En la Figura N°3, donde se presentan los 6 pasos a seguir según fase metodológica propuesta por la Evaluación Ambiental Estratégica.

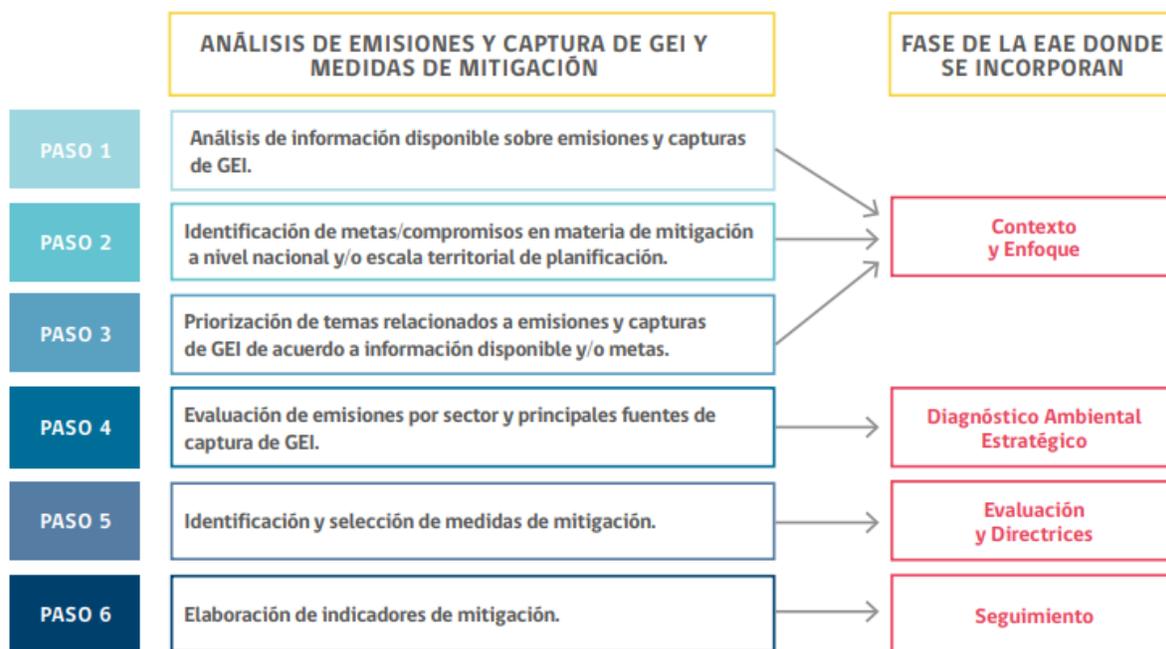


Figura 3: Secuencia para incorporar la mitigación en las fases de la EAE para los instrumentos de planificación y ordenamiento territorial de nivel regional.
Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2023.

1.2.2.4 Instrumentos de planificación territorial

El ordenamiento territorial puede entenderse como las acciones humanas para adaptar y modificar el espacio geográfico para satisfacer las necesidades (Massiris, 2005), en otras palabras, “ordenar la manera cómo usar, ocupar y transformar los espacios, los territorios, considerando las cualidades intrínsecas y propias del mismo, desde los diferentes puntos de vista (social, natural, institucional, político, cultural, etc.)” (Márquez & Velozo, 2020, p. 142).

Para el Estado el ordenamiento territorial es un proceso técnico-político-administrativo, que busca a largo plazo organizar el territorio en función de sus potencialidades, limitantes, y las expectativas de la población en relación con el desarrollo (Massiris, 2005), logrando optimizar, racionalizar y aplicar la sustentabilidad en la configuración del espacio geográfico a través de procesos participativos y consensuados (Márquez & Velozo, 2020).

En Chile, el ordenamiento territorial se ha caracterizado por llevarlo a cabo de manera sectorial y no territorial (Márquez & Velozo, 2020), por lo que la planificación territorial del país es una idea incipiente, principalmente se ha aplicado a escala regional (Werner & Zúñiga, 1995; Arenas, 2000; Muñoz *et al.*, 2010) y se ha focalizado en el desarrollo de áreas urbanas relegando al territorio rural (González, 2013).

Entonces para efectos del ordenamiento territorial chileno, esto se ha trabajado a través de políticas, planes y programas (PPP) basados en la normativa vigente chilena (Morales, 2020), como se puede revisar en la Figura N°4, definiendo así los instrumentos de planificación territorial presentados en la Figura N°5.

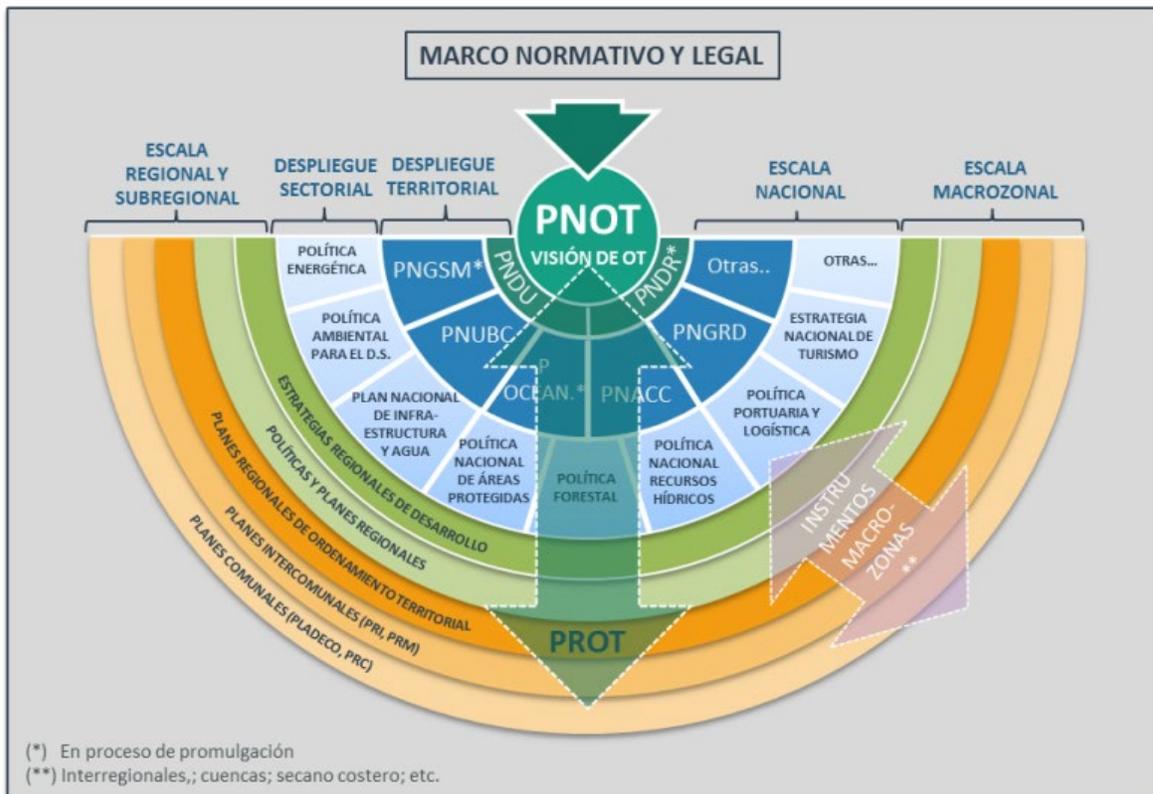


Figura 4: Esquema de la estructura de las políticas públicas de incidencia territorial.
 Fuente: Comisión Interministerial de Ciudad, Vivienda y Territorio, 2017.



Figura 5: Niveles de acción e instrumentos de planificación territorial asociados.
Fuente: Elaboración propia en base González (2013), 2023.

De acuerdo con lo presentado en la Figura N°5, se pueden determinar 4 escalas de aplicación de los Instrumentos de Planificación Territorial, por lo tanto, en la siguiente tabla (Tabla N°2) se presenta cada uno de ellos con su descripción y los actores involucrados en el diseño, promulgación y aplicación.

Nivel de acción de la Planificación Urbana	Planificación Urbana Nacional	Planificación Urbana Regional	Planificación Urbana Intercomunal o Metropolitana	Planificación Urbana Comunal
Acto administrativo o IPT	OGUC/PNDU	PRDU/PROT	PRI/PRM	PRC/ Seccionales
Tipo de acto administrativo	Decreto Supremo	Resolución GORE	Resolución GORE	Decreto Alcaldicio
Quién lo elabora	MINVU	Seremi MINVU	Seremi MINVU Municipalidades con aprobación de MINVU	Municipio (asesor urbanista)
Quién lo aprueba	Presidente de la República	GORE	GORE	Consejo Municipal
Quién lo promulga	Presidente de la República	Gobernador Regional	Gobernador Regional	Alcalde
Alcances territoriales	Propone lineamientos para el	Diagnosticar problemáticas territoriales	Regular el desarrollo físico de áreas urbanas	Instrumento normativo que determina usos

	crecimiento sustentable de áreas urbanas y asentamientos humanos.	regionales, para señalar estrategias y prioridades para enfrentarlos/ Espacialización de objetivos propuestos en la Estrategia de Desarrollo Regional, identificando potencialidad y limitantes para el desarrollo sustentable.	y rurales de varias comunas/ Instrumento de planificación que orienta, fomenta y regula el desarrollo urbano de un territorio regional o un conjunto de comunas.	de suelo, zonificación, funcionalidades, densidades, límites urbanos, etc., en zonas urbanas de la comuna.
--	---	---	--	--

Tabla 2: Alcances y actores relacionados a los instrumentos de planificación territorial.
Fuente: Elaboración propia en base a González (2013), 2023.

1.3 Área de estudio

Según el acuerdo de Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático del 1992 (Ministerio de Medio Ambiente, 2020a) define zonas de características vulnerables para los países ante el cambio climático, donde Chile presenta 7 de una lista de 9, entre las que el país presenta se encuentran, ciudades costeras, las zonas áridas y semiáridas. Es por ello que se ha seleccionado la ciudad de Arica ya que presenta estas características que la posicionan como vulnerable ante el cambio climático.

La ciudad de Arica es la capital regional de la XV Región de Arica y Parinacota, es la comuna más poblada de dicha región, con una población de 220.000 habitantes, según el último Censo de población y vivienda (INE, 2017). Bajo estas características se define Arica como una ciudad intermedia mayor, según la clasificación de ciudades que propuso el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU, 2007). La población de la región se caracteriza por ser principalmente urbana, aunque la tendencia de este tipo de habitar ha ido a la baja en términos porcentuales, disminuyendo de 93,2% en el año 2002, a un 91,7%, en el año 2017, a pesar de lo anterior, la tasa de crecimiento general de la población entre el 2002 y el año 2017 es de un 1,2% (Dirección Regional de Arica y Parinacota, 2019).

La comuna de Arica tiene dos ríos, uno por el norte, que es el Río Lluta, y uno que atraviesa el área urbana, correspondiendo al Río San José. Ambas cuencas son utilizadas como recursos hídricos para Arica, por una parte, el Río San José es de caudal permanente, pero en cantidades pequeñas y solo en el curso superior de este, en cambio, el Río Lluta tiene escasez de precipitaciones, exceptuando los meses estivales (Van Heck, 2020).

Además, el Río Lluta tiene un inconveniente para su uso, debido a que tiene grandes cantidades de boro y cantidades considerables de azufre y manganeso, lo que lo convierte en una mala cuenca para desarrollar actividades agrícolas. Por el contrario, el Río San José, permite que en el valle de Azapa se puedan plantar frutas y hortalizas, lo que provee de áreas de vegetación en sectores del valle y cerca del área urbana.

Las principales áreas verdes y naturales que se encuentran en la comuna de Arica son, en el sector norte del área urbana, el humedal de la desembocadura del Río Lluta, que ha pasado a ser una zona de Reserva Natural, siendo el humedal costero más al norte de Chile, siendo relevante importante también por su gran diversidad de avifauna. Mientras que dentro del límite sur de la ciudad se encuentra el morro que, si bien está casi totalmente desprovisto de vegetación, este es una barrera orográfica.

Como se puede ver en la figura N°6, Arica se ubica dentro del valle del Río San José, río arriba, en los límites del área urbana, se ubican varios sectores dedicados a la agricultura, ubicados en una zona de transición entre el tejido urbano, a uno mixto, y luego con una menor densidad poblacional fuera de los límites de la ciudad.

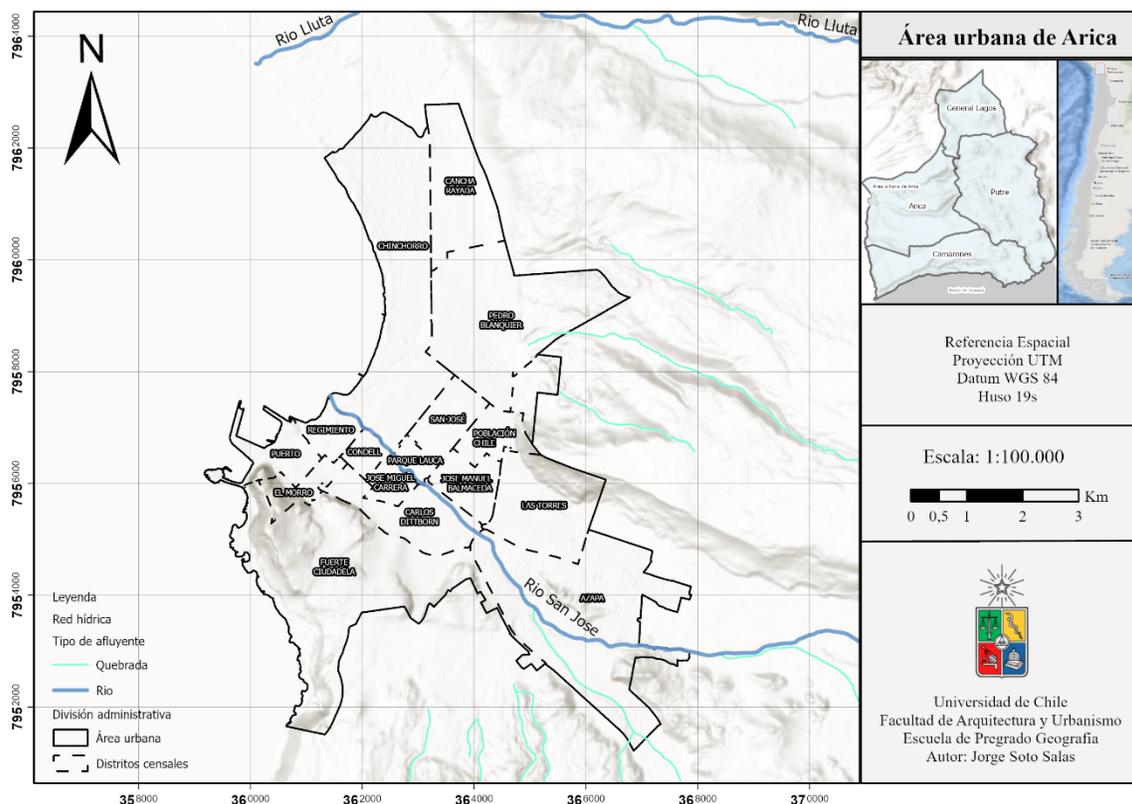


Figura 6: Cartografía del Área Urbana de Arica 2022.

Fuente: Elaboración Propia, 2023.

1.3.1 Aspectos climáticos de Arica

Arica es una ciudad costera de clima árido o Bwh según la Clasificación Climática de Köppen (Sarricolea *et al*, 2017), se encuentra bajo la influencia del anticiclón del Pacífico Sur, que consiste en un centro de altas presiones en el aire que desciende, lo que dificulta el ascenso de las temperaturas cálidas debido a la presión que están sujetas, lo que provoca inversiones térmicas de subsidencias. Las inversiones térmicas impiden la correcta ventilación del aire, atrapando el aire cerca de la superficie, lo que en las ciudades o áreas industriales provoca el estancamiento del aire contaminado (Romero *et al*, 2010).

La precipitación anual de Arica ha presenta una tendencia positiva a través de los años, pero se mantiene por debajo del umbral de 3mm, como se puede ver en las precipitaciones totales anuales.

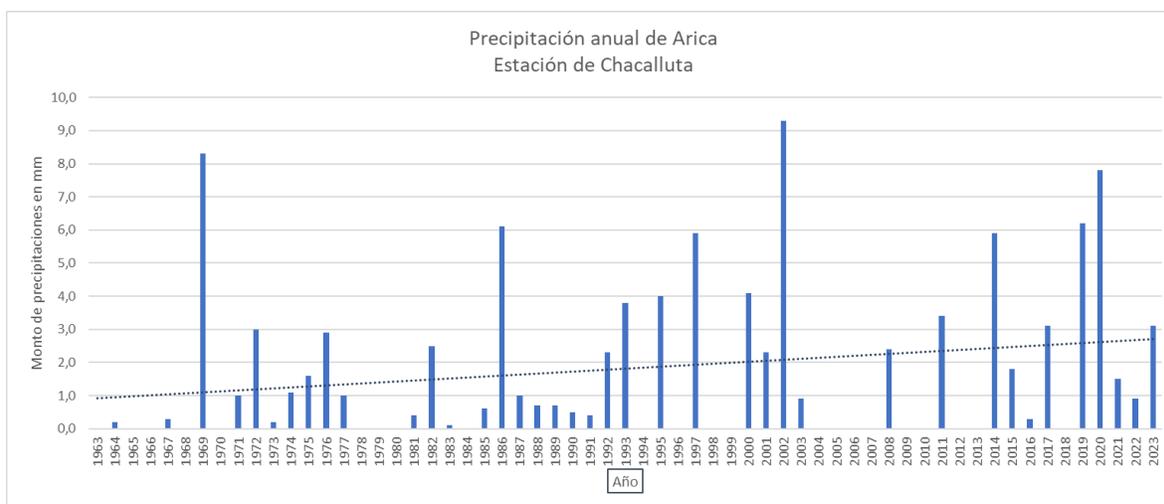


Figura 7: Precipitación anual de Arica, Estación de Chacalluta, periodo 1963-2023.
Fuente: Elaboración propia en base a Dirección Meteorológica de Chile, 2023.

El PLADECO 2021 – 2030 de la comuna de Arica señala que las condiciones climáticas tienen un predominio desértico, caracterizado por no presentar precipitaciones y mantener una temperatura cálida de promedio 18°, implicando una baja amplitud térmica anual (Secretaría Comunal de Planificación, 2021). Por otra parte, el PLADECO agrega que la influencia del anticiclón del Pacífico afecta en el déficit de precipitaciones agravado por condiciones orográficas.

Además, revisando el Atlas de Riesgo Climático, la comuna de Arica se presenta como una de las ciudades mayormente amenazada por el Discomfort Térmico, valorando según el Índice Humidex con un 0,9793, (Ministerio de Medio Ambiente, 2020b), lo que implique que en la actualidad y en el futuro se presente como una de las ciudades más riesgosas con respecto a este indicador.

1.3.2 Instrumentos de planificación territorial de Arica

Con relación a los instrumentos de planificación territorial de la comuna de Arica tres han estado presente, pero en la actualidad solo dos se mantienen vigentes, como se puede ver en la Tabla N°3. El Plan Regulador Comunal (PRC) se encuentra en evaluación para ser actualizado, por lo tanto, el vigente es desde el año 2014. En cuanto al Plan Regulador Intercomunal (PRI), este aún está en revisión y modificaciones. En relación con el Plan de Ordenamiento Territorial (PROT) no ha sido finalizado, por lo que hasta el momento se categoriza abandonado.

Fecha	Nombre	Instrumento	Región	Provincia	Comuna(s)	Escala	Org. Responsable	Oficina	Procedimiento Actual
04/02/2014	PROT Arica	PROT	Todas	Todas	Todas	Regional	GORE	Nivel Central	Resolución de Desistimiento o Abandono
08/07/2014	PRC Arica	PRC	Todas	Todas	Arica	Comunal	Municipalidad	Nivel Central	Resolución de Término de la EAE
19/12/2018	PRI Arica – Putre	PRI	Todas	Todas	Arica, Putre	Intercomunal	SEREMI MINVU	Nivel Regional	Inicio EAE
26/07/2021	Modificación PRC Arica Sector El Alto Artículo 50 L.G.U.C	PRC	Todas	Todas	Arica	Comunal	SEREMI MINVU	Nivel Regional	Informe Ambiental

Tabla 3: Lista Instrumentos de Planificación Territorial de Arica.

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2023.

Presentada el área de estudio, a continuación, se indican los objetivos que guiarán la presente investigación.

1.4 Objetivos

1.4.1 General

Evaluar la calidad climática de la ciudad de Arica, identificando estrategias de intervención en sectores con baja calidad en el marco de la planificación sensible al clima.

5.2.3 Específicos

1. Determinar la influencia de las variables climático-ambientales sobre la calidad climática
2. Evaluar la calidad climática en la ciudad de Arica
3. Proponer lineamientos de planificación sensible al clima sobre instrumentos de planificación territorial

CAPÍTULO 2: MARCO METODOLÓGICO

Esta investigación empleó una metodología de tipo mixta, utilizando métodos tanto cuantitativos como cualitativos.

Los primeros dos objetivos se pueden obtener mediante la metodología cuantitativa, como se puede ver en la Figura N°7 cada actividad, fuente y resultado esperado para cada objetivo. El primer objetivo necesita de encontrar un peso, en este caso porcentual, relativo entre las variables seleccionadas, por lo que el resultado esperado será una cantidad específica, y se realizó una encuesta para poder determinarse. Por su parte, el segundo objetivo, tiene como finalidad realizar esta unión de variables cuyo peso se determinó del primer objetivo y, mediante métodos cuantitativos tales como el uso de imágenes satelitales para tener información cuantificada a través de imágenes y uso de software, construir el indicador de calidad climática.

Mientras que el tercer objetivo, usa una metodología cualitativa, porque este busca obtener una solución a los posibles problemas climáticos encontrados previamente por el indicador, lo que necesita de medidas que, mediante una revisión bibliográfica y de instrumentos normativos, se pueden dar lineamientos para una buena solución a los problemas identificados.

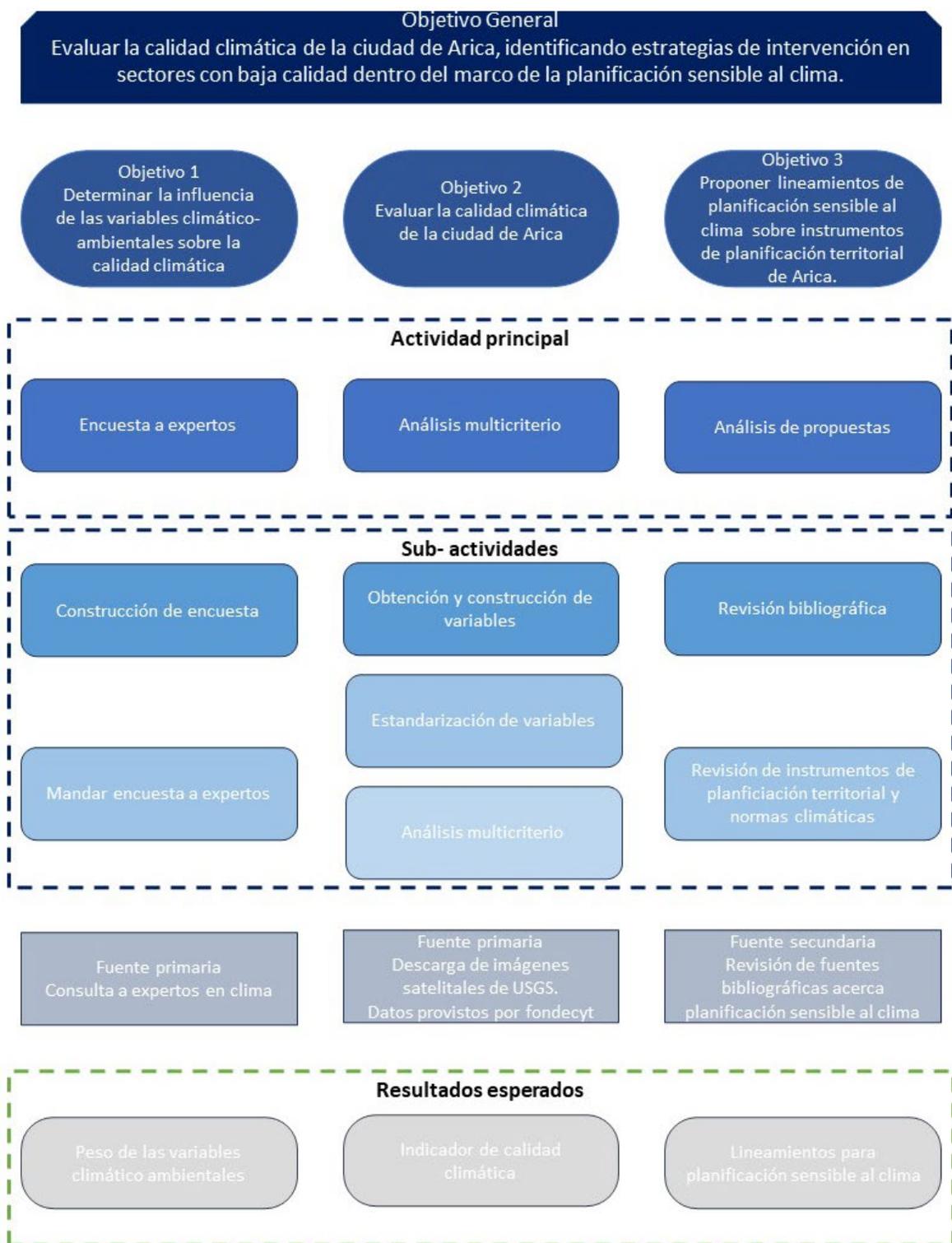


Figura 8: Esquema metodológico de investigación.
 Fuente: Elaboración propia 2023.

2.1 Selección de Variables y su Peso

Esta etapa de la investigación corresponde a la revisión de un insumo utilizado por una fase previa a la construcción de este documento, en el texto “*Variables Climáticas en los estudios de Calidad Climática y Clima Urbano*”, investigación que se enmarcó en la práctica profesional del autor asociada al Proyecto Fondecyt Iniciación 11180990 “*La construcción del clima urbano: hacia la calidad y justicia climática en las ciudades chilenas*” en el año 2021.

En base a este texto se obtienen las variables climático- ambientales susceptibles a ser integradas en un indicador de calidad climática, que se trabajaron en los pasos venideros. Para poder integrar las variables en el indicador, se necesitó determinar su peso, que se detalla en los títulos de a continuación.

2.1.1 Revisión Bibliográfica y selección de variable para el instrumento.

Para la selección de variables se realizó una revisión bibliográfica, donde se revisaron textos de estudios climáticos, asociados con los conceptos (como motores de búsqueda) de: Calidad climática, confort térmico, calidad de vida, clima urbano sustentable, zona climática local. En la Tabla N°4, se puede ver que el principal concepto revisado fue el de calidad climática, seguido por estudios de confort térmico. Esto conformó una primera base de datos de textos sobre climatología urbana. Una segunda base de datos se añadió por parte del Fondo “*La construcción del clima urbano: hacia la calidad y justicia climática en las ciudades chilenas*”, en este el principal tema de estudio fue sobre isla de calor urbana.

Motores de búsqueda					
Buscador	Concepto				
	Calidad Climática	Confort Térmico	Calidad de Vida	Clima urbano sustentable	Zona Climática local
Google Scholar		3	1	1	
Research Gate	2	1			1
Scielo	1				
Science Direct	1				
Repositorio PUC	1				
Repositorio Uchile	1				

Tabla 4: Motores de búsqueda.

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Además de los textos revisados mediante esta etapa, se añadieron a este análisis otro conjunto de 18 textos, estos provistos del fondo “*La construcción del clima urbano: hacia la calidad y justicia climática en las ciudades chilenas*”, estos textos tenían una ficha técnica que daban a conocer sus temas, métodos y especificidades, añadiendo ambas bases de datos se analizaron un total de 31 textos. De los textos revisados en el motor de búsqueda, se construyó una ficha técnica similar que constaba de:

Autor, Año, Nombre del Artículo, Área de Estudio, Escala del Estudio, Tipo de Clima, Concepto central, Variables Climático-Ambientales evaluadas, Principal Metodología y Principales Resultados.

Del total de las variables revisadas (Ver AnexoN°1), las que más frecuencia tuvieron fueron las seleccionadas, exceptuando aquella de coberturas de suelos, que hace una referencia amplia a las distintas superficies de la ciudad, pero entre la cobertura vegetal y superficie impermeable se puede abordar de mejor manera lo que es la cobertura de suelo. La otra excluida fue la de zona climática local, esta debido a que es una clasificación climática que se hace dentro del tejido urbano, industrial, rural e intermedios, y, para llevar a cabo esta clasificación, se evalúan varias variables de por medio, por lo que ya es un resultado complejo esta zonificación. Finalmente fueron 10 las variables seleccionadas (Tabla N°5).

Variable climatico - ambiental	Frecuencia
Temperatura superficial	17
Vegetación	9
Superficie impermeable	7
Temperatura atmosférica	7
SVF	7
Humedad relativa del aire	6
Dirección y velocidad del viento	6
Distancia a cuerpos de agua	6
Calidad del aire	4
Relación altura ancho	3

Tabla 5: Variables para construir el indicador de calidad climática.

Fuente: Elaboración propia 2020

2.1.2 Construcción de Encuesta a expertos.

El número de variables utilizado en este indicador es bastante mayor a lo usual, y teniendo en consideración que son variables que pueden relacionarse unas con otras, o también pueden ser independientes, es apropiado integrarlas con un criterio o consenso mediante expertos en la materia. Además, se debe considerar que no todas afectan en la misma proporción a la calidad climática, por lo cual necesitan tener un peso ponderado que fue definido a través de la consulta a expertos.

Cuando se diseñó del instrumento, se seleccionó un sitio web que cumpliera con el formato de las preguntas de selección múltiples previstas y la construcción de una cuadrícula con cruce de datos. El sitio seleccionado para esta encuesta fue survio.com

Las preguntas del cuestionario fueron diseñadas para evaluar desde la perspectiva general a la particular, cuáles eran las variables más propicias para construir un indicador de calidad climática. Las preguntas eran de orden de preferencia, donde cada variable tiene un valor según la posición que ocupaba entre las 10.

Teniendo en cuenta la naturaleza del indicador, se incluyó el contexto socioambiental de la ciudad, teniendo así una visión más integra de su clima urbano, para facilitar la opinión de los expertos. Los contextos por los cuales se preguntó fueron los siguientes: Tamaño de la ciudad, Cercanía a cuerpos de agua y la Zona climática, está última por la clasificación climática de Köppen Geiger. El tamaño de la ciudad fue definido como “ciudad mediana” para el caso de Arica, según su cantidad de habitantes y tamaño físico. También esta fue definida como “Ciudad costera”, pues se puede medir la influencia del mar, lagos, ríos, y en caso contrario la continentalidad de una ciudad. Y, finalmente, se evaluó por su tipo de clima, en este caso es el clima árido cálido, o BWh, según la clasificación climática de Köppen Geiger.

La última pregunta se propuso medir que tipo de relación guardan las variables, haciendo un cruce de las 10 variables donde en cada cruce se debe señalar si la relación de las variables es directa, inversa o neutra.

Finalmente, con el instrumento diseñado, se procedió a otorgarle los aspectos formales. Estos aspectos consistían en señalar definiciones importantes para entender de manera uniforme y sin ambigüedades las preguntas. Añadiendo una presentación del instrumento en la portada y un consentimiento informado a los encuestados.

2.1.3 Elección de Expertos.

Para la selección de expertos se revisaron publicaciones sobre clima urbano en las revistas electrónicas como Science Direct, Research Gate y Scielo.

Investigadores de los siguientes países fueron los seleccionados como los expertos: Chile (1), Argentina (2), España (5), México (1), Estados Unidos (2) y Reino Unido (4). Estos fueron contactados mediante correo electrónico, y su contacto fue obtenido mediante artículos y portales universitarios. De los 14 expertos contactados 7 contestaron la encuesta, donde un 20% fueron mujeres, mientras que el 80% de hombres.

2.1.4 Procesamiento de datos.

El software que se utilizó para almacenar y analizar los datos obtenidos de la encuesta fue el Excel de la versión Office 16.

El traspaso de la información a este sistema se hizo a través del sitio web que hospedo la encuesta, Surviv.io, donde da la opción de descarga de datos en una versión compatible para Excel.

En Excel se ordenaron las preguntas y respuestas de cada encuestado y se les designó un número identificador para mantener el anonimato del experto.

2.1.5 Selección y Asignación de peso de las variables.

De las 10 variables seleccionadas, se consideraron aquellas que iban a tener un componente espacial, en especial si se puede medir la variabilidad espacial de estas. Otro criterio es que las variables se representaron a mesoescala (área urbana de Arica). Así que, teniendo ambas consideraciones expresadas atrás, se decidió utilizar 8 de las 10 variables. Dejando fuera al Sky View Factor y a la Relación Alto edificación-Ancho calle, que pueden ser aplicables para evaluar calles y/o puntos in situ, a microescala, y no para toda la ciudad.

El peso de las variables se hizo mediante el proceso analítico de jerarquización de variables (Saaty, 1987), y con valores complementarios para construir la razón de consistencia detallada en el libro de “Investigación de operaciones” (Taha, 2012).

Para construir la matriz de comparación, primeramente, hay que tener en consideración el número de variables o parámetros que van a ser utilizados. Este método permite evaluar en una matriz las variables seleccionadas. Para este caso 2 de las 8 variables seleccionadas tienen una dificultad para obtenerlas, que son la dirección y velocidad de viento y calidad del aire, dificultad detallada más adelante, así que se realiza la matriz tanto para 8 variables como para 6. En este proceso se le asigna un valor a la casilla, mostrando cuanto más importante es una variable respecto a la otra. La tabla N°6 expresa el razonamiento para la asignación de valores.

Escala Numérica	Definición
1	Igual importancia
3	Moderada importancia de una sobre otra
5	Fundamentalmente más importante
7	Fuertemente más importante
9	Extramadamente más importante
2,4,6,8	Valores intermedios entre dos criterios adyacentes
Reciporidad	Si el valor de un elemento "Y" (fila), toma uno de los valores arriba mencionados cuando se compara con un "J" (columnas), cuando se compare luego "J" con "Y", tiene el valor recíproco <i>Valor Entero</i> ⁻¹

Tabla 6: Escala de importancia absoluta.
Fuente: Elaboración propia en base a Saaty, 1982.

Además, para que los valores tengan una lógica interna, y se sepa que tienen una relación consistente debe ser calculada la razón de consistencia a través de la expresión: $RC = \frac{CI}{RI}$, donde si RC es menor a 0,01, es porque la razón es consistente. Si no llegase a ser consistente, se debe ajustar el criterio de importancia realizado anteriormente hasta que el valor se ajuste a lo debido.

Por otra parte, las matrices normalizadas se determinaron dividiendo cada entrada de una columna entre la suma de la columna respectiva, así para cada valor que se encuentre en la tabla, como se puede en la tabla N°7.

	V1	V2	V3	Matriz			Suma matriz
V1	1	5	3	1/1,53	x	y	(1/1,53)+x+y
V2	1/5	1	2	
V3	1/3	1/2	1	
Suma	1,53	6,5	6				

Tabla 7: Ejemplo de Matriz normalizada.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Con esta matriz se determinaron los porcentajes realizando una suma de vector de cada elemento.

Con el valor debidamente ajustado, se pueden usar los valores de porcentajes obtenidos de la suma vectorial antes mencionada para asignarle el peso a cada variable.

2.2 Construcción de indicador

2.2.1 Obtención de variables para el cálculo del indicador

El periodo estudiado en esta investigación corresponde al verano diciembre 2020 – febrero 2021, y la escala de información debía ser a lo menos del tamaño de cobertura del área urbana de Arica.

La información siguiente se trabajó principalmente en el sistema de información geográfica ArcGis Pro. También la utilización de Excel para el manejo de datos puntuales y volver ser integrados a ArcGis Pro.

Las imágenes fueron preparadas a través de 3 fuentes de información.

- Imágenes de bandas espectrales del satélite Landsat 8.
- Puntos de medición in situ, por sensores Ibutton.
- Límites administrativos de las IDE.

2.2.2 Obtención a partir del procesamiento de Imágenes Satelitales

- A. Las siguientes variables climático-ambientales se obtendrán bajo el proceso y análisis de imágenes satelitales: Cobertura vegetacional, a través del índice NDVI.
- B. La superficie impermeable se va a determinar por el índice NDBI.
- C. La temperatura superficial se va a determinar mediante el cálculo realizado por el siguiente diagrama.

El sitio web que proveyó las imágenes es el *United State Geological Survey* (USGS), ya que es un sitio web de acceso libre, con acceso a usuarios de distintas áreas, en este caso, para el uso en instancias educacionales, con información actualizada y fiable.

En consecuencia, de los métodos necesitados para este caso, y por el periodo de tiempo en el que transcurre la medición, que corresponde al verano comprendido entre el año 2020 y 2021, se consideró el uso del satélite Landsat 8 OLI TIR. Con estos criterios se buscaron los resultados compatibles la medición.

Ya para el caso específico de bandas a utilizar se descargaron las bandas 4, 5, 6 y 10 para preparar las imágenes de las variables. Imágenes que corresponden al 11 de febrero del año 2021.

2.2.3 Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

La cobertura vegetacional puede evaluarse usando este indicador, NDVI o Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada. Su uso ayuda a medir, en cierta medida, la presencia de vegetación y su vigorosidad.

Para obtener el indicador se necesita de un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS en inglés) para poder procesar las imágenes. En este caso se usó ArcGis Pro, versión 3.1.2, software desarrollado por ESRI, que tiene herramientas que permiten trabajar con estas imágenes, como las que se encuentran bajo la licencia de “Spatial Analyst Tools”.

Para el cálculo del NDVI se usa la siguiente formula general. Donde NIR es la banda que registra el espectro de ondas al infrarrojo cercano, y RED aquellas que registran el rojo del espectro de luz visible.

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

Que para el caso del satélite Landsat 8 resulta en las siguientes bandas.

$$NDVI = (Band 5 - Band 4) / (Band 5 + Band 4)$$

Dentro del software ArcGis Pro, con la herramienta de “*Raster Calculator*”, se pudo realizar este cálculo, agregándole la función “*Float*”.

2.2.4 Índice de Diferencia Normalizada Construida (NDBI)

Para el caso de la superficie impermeable, este se evaluó a partir del Índice de Construcción de Diferencia Normalizada, NDBI por sus siglas en inglés. Este puede usarse para medir la superficie impermeable en las zonas urbanas especialmente.

El cálculo de este índice se hace bajo la siguiente fórmula. Donde SWIR que es la banda que capta las ondas del infrarrojo de onda corta.

$$NDBI = (SWIR - NIR) / (SWIR + NIR)$$

Que para el caso del satélite Landsat 8, se traduce en las siguientes bandas.

$$NDBI = (Band\ 6 - Band\ 5) / (Band\ 6 + Band\ 5)$$

2.2.5 Temperatura superficial

Para la determinación de la temperatura superficial, o para efectos de este cálculo o temperatura superficial del suelo (LST por sus siglas en inglés). Se debe contar con las bandas 4, 5 y 10. La banda 4 y 5 porque se utiliza el NDVI, previamente calculado y la banda 10 complementa estas porque es una banda térmica que integra el índice.

Siguiendo la Figura N°8 que muestre el diagrama del cálculo de la LST se necesitan estimar los siguientes elementos.

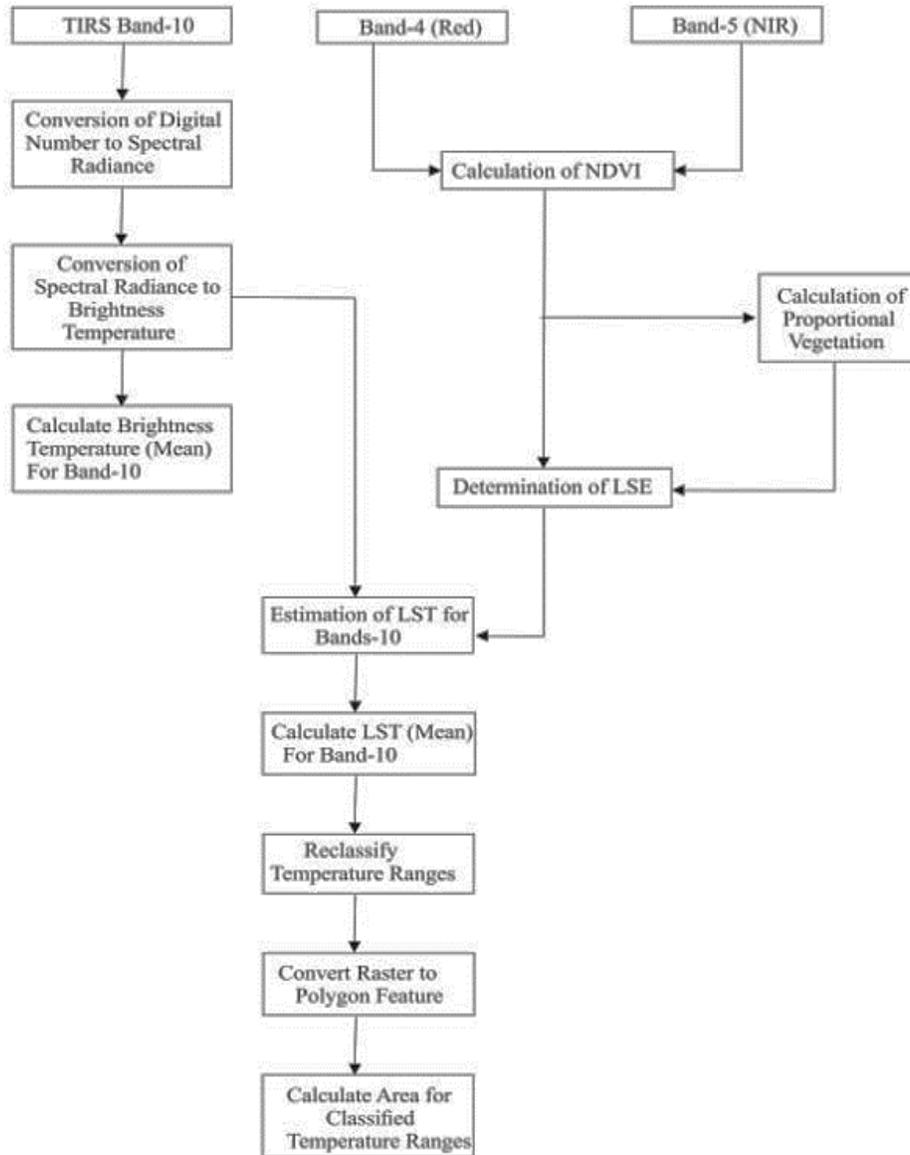


Figura 8: Diagrama de cálculo de temperatura superficial.
Fuente: Yasir, 2020.

Top of the Atmosphere Spectral Radiance, que se traduce en Radiancia espectral de la parte superior de la atmosfera. Y se determina por el siguiente cálculo.

$$TOA(L) = M_L * Q_{cat} + A_L$$

Luego se determinó la temperatura de brillo (BT por sus siglas en inglés).

$$BT = (K_2 / (\ln(K_1 / L) + 1)) - 273.15$$

A partir del NDVI que ha sido estimado para la cobertura vegetal se calculó la Proporción de vegetación.

$$P_v = ((NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min}))^2$$

Con el porcentaje de vegetación se determinó luego la emisividad.

$$E = 0.004 * P_v + 0.986$$

Y finalmente se calcula, con los valores antes obtenidos la temperatura superficial.

$$LST = (BT / (1 + (0.00115 * BT / 1.4388) * Ln(\epsilon)))$$

2.2.6 Sensores (Ibutton)

Las variables de temperatura superficial y humedad relativa del aire se obtuvieron mediante la medición de instrumentos in situ, de los sensores utilizados, estos estuvieron dispersos en distintos puntos fijos de la ciudad, por lo que hay una representación espacial a lo largo del territorio urbano.

En este caso los sensores Ibutton fueron provistos por el Fondecyt Iniciación 1080080.

Estos sensores tienen la capacidad para tomar datos de forma constante, registrando cada 1 hora datos de temperatura y humedad, los datos de temperatura, en grados Celsius, y los de humedad relativa, en porcentaje.

La ubicación de los sensores fue entregada georreferenciada y en formato “Shapefile”, compatible con el software ArcGis Pro.

Los datos fueron tomados por una extensión de meses más largas que la duración del verano que se evaluó, por lo que se registraron todos los datos requeridos para el periodo. Estos se grabaron en una tabla Excel.

Mediante el uso de Excel, tanto para visualizar como analizar los datos medidos, como primer filtro se tomó la temperatura, y se determinó la hora que percibía la mayor temperatura en el día, que resultó en ser las 16 horas, y además el mes más cálido resultó ser febrero. Entonces el dato que se usó posteriormente en la construcción del indicador es el del promedio medido en verano a las 16 horas. Y con la humedad, también se usó el promedio medido en verano a las 16 horas.

Una vez los puntos de localización de los instrumentos tuvieron agregados los datos de temperatura y humedad. La información discreta de los puntos se pasó a información continua mediante una interpolación.

El software ArcGis Pro, tiene 3 herramientas para interpolar información de puntos, entre ellas está la herramienta “Krigging”, “Spline” e “IDW”.

La herramienta de interpolación que mejor responde cuando hay pocos datos, como este caso (solo 7 puntos) es el interpolador IDW, Inverso a la Distancia ponderada, que a diferencia del interpolador Krigging no necesita una gran cantidad de puntos para ser más preciso. El interpolador Spline opta por una distribución de los datos visualmente más fluida, lo que provoca bastantes extrapolaciones de valores, y más aún cuando se presentan pocos puntos para la interpolación.

2.2.7 IDE

Para la obtención de la información de la variable de “Distancia a Cuerpos de Agua” se calculó usando insumos provistos por la Infraestructura de Datos Espaciales.

La ciudad de Arica por su condición de ciudad costera sufre una importante influencia del mar, razón por la cual este fue considerado en el análisis. La información que se necesitó para formar la variable de distancia a cuerpos de agua es la línea de costa para el segmento de la ciudad de Arica. Por lo que se optó por extraer el límite oeste del polígono de la comuna, para que represente la línea de costa de Arica.

Para obtener la variable en un formato ráster, con valores en función de distancia, se realizó un proceso por la herramienta “*Distance Accumulation*” respecto a la línea de costa que tiene la comuna. Para las características de ráster que se usaron se debió cambiar los “Enviroments”, donde se seleccionó la proyección a usar, UTM WGS84 hemisferio sur 19s y también el tamaño de píxel de 30 metros.

También se extrajo del sistema de IDE la información de los distritos a través de Cartografía de Pre Censo de Arica del año 2017, para poder evaluar la información a través de estos sectores de la ciudad en el análisis espacial de los datos.

2.2.8 Complementación de datos sin componente espacial

La formación de la variable de velocidad de viento y de calidad del aire presentó limitantes, ya que solo fue una estación meteorológica (estación de Chacalluta) los registró, lo que implicó que no hubiese una variabilidad espacial para estas variables.

La ubicación de la estación de Chacalluta de la comuna de Arica está fuera del área urbana de Arica, por lo que los datos tienen ciertas consideraciones que tomar. Para el caso de los datos correspondientes al material particulado fino 2,5, o MP2,5 de aquí en adelante, se tomará tanto el valor promedio para el verano como también una simulación de escenarios, estos corresponderán a los valores que indican los 3 niveles de emergencia ante niveles de concentración de contaminantes.

Aun así, para la integración de esta variable, al no tener un dato relacionable a la normativa nacional emergencia por contaminantes en el aire, se optó por hacer una simulación de

escenarios, donde se evalúa el indicador para las situaciones de emergencia por distintos niveles de concentración de contaminantes, cifras presentes en el Decreto 12 de la Ley 20.417.

Para el caso del viento, ocurre un problema similar, pero en este caso ocurre un inconveniente por la ubicación de la estación de medición de los vientos en Arica, pues esta fuera del límite urbano. Por lo que los datos obtenidos, no son precisos para describir algún fenómeno urbano.

Los vientos medidos en la estación Chacalluta, ubicada a 8,8 km al al noroeste de la ciudad, indican la dirección de los vientos predominantes son de origen suroeste (SW). Lo que se puede explicar por la influencia del anticiclón del Pacífico, pues esta gira en sentido horario, y como toca las costas de Chile por la sección derecha de su ciclo, ordena los vientos en esta dirección.

El uso de estos datos puede sobrestimarse al ser aplicado en el área urbana, pues el área urbana de Arica tiene más edificaciones, lo que presenta más barreras y obstáculos para el paso del viento, junto con ello la presencia del morro genera una barrera natural, disipando los vientos que vienen del SW, que como antes se mencionó son de donde principal vienen los vientos.

Por todas estas consideraciones, la determinación del viento se realizó también asumiendo un valor para toda la ciudad, y se simuló el escenario en el que el viento es lo suficiente fuerte para influir en el confort térmico.

2.3 Estandarización de variables para la evaluación multicriterio

Para llevar a cabo el análisis multicriterio, a través del cual se unen las variables con sus pesos respectivos, es necesario tener una unidad de medida que tenga una misma escala para todas. El método utilizado en este caso es el de reclasificar los valores de cada una de las variables, con el criterio de que, los nuevos valores que adquieran contribuyan directamente al indicador de calidad climática.

En ArcGis Pro, la herramienta que permite realizar la reclasificación de valores se llama “Reclassify”.

Utilizando de referencia el trabajo de calidad climática realizado por Henríquez & Smith (2020), se usó de referencia la clasificación del indicador en 5 intervalos. Presentado en la Tabla N°8. Bajo estas clases. También este número de clases se utilizó para reclasificar el valor de las variables señaladas en la sección clases de la tabla N°8.

Nivel de calidad climática		
Clases	Intervalos	Cualitativo
1	[0 - 20]	Muy bajo
2	[20,1 - 40]	Bajo
3	[40,1 - 60]	Regular
4	[60,1 - 80]	Alto
5	[80,1 - 100]	Muy alto

Tabla 8: Nivel de calidad climática expresado cuantitativa y cualitativamente.

Fuente: Elaboración propia 2023, en base a Henríquez & Smith 2020.

A continuación, se explica el criterio de reclasificación por cada variable.

2.3.1 Temperatura Atmosférica y Superficial

Para estandarizar los valores de temperatura, se buscaros los valores óptimos primero para la temperatura atmosférica, luego para la temperatura superficial se hizo una corrección señalada más adelante según los valores que se determinan a continuación.

En la tabla se ven las temperaturas a la 16:00 horas, debido a que esta es la hora que mayor temperatura presenta en el verano. La humedad de igual manera tomará los datos promedios registrados para las 16:00 horas. Además, se evaluó los siguientes escenarios de temperatura para la temporada de verano en Arica, temperatura promedio diurna, máxima para el día con mayor temperatura (promedio 7 estaciones), escenario de ola de calor y proyección futuro según las estimaciones realizadas por el informe de ciudades del Atlas de Riesgo Climático de Chile.

Según lo definido por la Dirección Meteorológica de Chile, la ola de calor se calcula bajo la siguiente definición “*Se considera ola de calor toda vez que la temperatura máxima diaria supere el percentil 90 diario de la distribución histórica por al menos 3 días consecutivos*”. Para el caso de Arica, los datos de umbral de ola de calor se obtuvieron a partir de la estación de Chacalluta, esta estación se encuentra en 7 km al norte del área urbana de Arica, por lo que la temperatura que se mide es diferente de la medida en la ciudad de Arica. El umbral que define la estación de Chacaluta es de 27,56°C para Arica. Por esta diferencia se sumó el valor de la intensidad de isla de calor al umbral, estimado por el informe de Ciudades del ArClim, esta intensidad se estima en 3,43°C, por lo que el valor de la ola de calor se ve añadido al valor original, acabando con un total de 30.99°C.

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
A las 16:00 hrs	28,85	27,20	29,96	27,42	26,68	29,16	29,87
Promedio horas diurnas	25,85	24,89	25,50	24,75	24,59	25,65	25,39
Día con mayor temperatura	31,57	29,31	34,10	29,71	28,69	32,01	31,30
Umbral de ola de calor	30,99	30,99	30,99	30,99	30,99	30,99	30,99
Temperatura futura	30,35	28,70	31,46	28,92	28,18	30,66	31,37

Tabla 9: Escenarios de temperatura evaluados en el indicador.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Los umbrales de reclasificación se asignaron en base a 3 criterios. El primero de estos corresponde al rango de confort térmico, estos valores son utilizados de Smith & Henriquez para este propósito, estos valores son [21,1°C – 27,02°C]. El segundo criterio es respecto al valor de ola de calor, este valor de temperatura estableció el límite superior para determinar la menor calidad, este valor es 30,99°C. El tercer criterio corresponde a el promedio de temperaturas mínimas que señala el valor inferior desde el cual se determina la menor calidad, este valor corresponde a 19,88°C.

Los valores de para formar las clases intermedias, se determinaron en intervalos iguales entre los valores antes descritos. Considerando que las clases 5 y 1 estas descritos en los criterios dichos anteriormente, las clases 2, 3 y 4 calcularon en rangos iguales, entre la diferencia de los valores de quiebre de la clase 5, y el valor límite superior e inferior. Estos valores se pueden observar en la tabla N°10.

Estos valores obtenidos según los criterios descritos se pueden ver en tabla N°10, entre los rangos de se puede ver que el intervalo 5 se genera por los establecido por el primer criterio mencionado. Los demás valores forman un intervalo según pertenezcan a la columna de valor inferior o superior. Si pertenecen a la sección inferior, los valores mayores que los señalados en la columna de clase, por ejemplo, de la clase 4 para temperatura atmosférica, 20,69°C, forman el intervalo de la clase 4. Mientras que, si pertenecen a la sección superior, los valores menores que los señalados en la columna de clase, forman el intervalo de dicha clase evaluada.

	Inferior					Superior				
Valores de reclasificación	1	2	3	4	5	5	4	3	2	1
Valores límites de temperatura atmosférica	MIN	19,88	20,29	20,69	21,1	27,02	28,34	29,67	30,99	MAX
Valores límites de temperatura superficial	MIN	23,79	24,20	24,60	25,01	30,93	32,25	33,58	34,90	MAX
	Mayor que					Inferior	Superior	Menor que		

Tabla 10: Valores de quiebre para reclasificación de temperatura atmosférica y superficial.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La temperatura superficial medida en imágenes satelitales registra mayor valor que la temperatura que el aire atmosférico, por lo que se puede ajustar teniendo en cuenta la diferencia promedio entre ambas capas de información. En este caso la diferencia promedio entre ambas capas es de 3,91°C.

2.3.2 Humedad relativa

La humedad relativa del aire se evaluó en base al criterio de Croiset (1976) en García (2019) que definen un rango en el que la humedad debe encontrarse entre los valores 25% y los 85% para generar las condiciones óptimas para el bienestar humano, además se señala que valores de humedad por debajo de este umbral puede ser dañino para la salud.

Los valores que se encuentran fuera de este rango se evaluarán como menor calidad, por lo que llevara valores más bajos. Por lo que se encuentra fuera del óptimo, disminuirá de forma lineal en cuartiles.

Nombre	ID	Humedad Verano 16 horas
ibChuburgo	1	50,43
Eleodoro	2	53,18
Azapa	3	43,56
Seremi (Bco)	4	53,93
Restaurante Veg.	5	52,31
UTA	6	46,76
Psje Quane	7	44,10

Tabla 11: Humedad promedio por nombre de y numeración ID.

Fuente: Elaboración propia 2023

2.3.3 Distancia a cuerpos de Agua

La distancia a los cuerpos es una de las características deseables, entonces cada vez que la distancia aumenta entre el cuerpo de agua y algún sector, este se verá afectado con peores valores para la calidad.

Se clasifico de forma lineal entre la distancia mínima a la costa a la más lejana que se encuentra dentro del área urbana, en intervalos iguales para representar quintiles.

2.3.5 NDVI

El caso del NDVI, que funciona con valores que van entre $[-1, 1]$, y los valores positivos de este índice muestran la presencia de zonas vegetales, y mientras más grande el valor aumenta la vigorosidad de las vegetaciones medida. Los valores negativos presentan lugares donde hay ausencia de vegetación.

Entonces, mediante este criterio, los valores negativos van a considerarse como los que menos aportan a la calidad climática, mientras que los valores positivos crecerán de forma lineal hasta alcanzar el valor “1”, pero los valores continuos se pasaron a rangos discretos, dividido en cuartiles con rangos equidistantes para mostrar 5 categorías de calidad diferente. (los valores bajo 0 ocuparan el intervalo menor de las 5 categorías, mientras que las otras 4 categorías se reparten los valores en rangos iguales).

2.3.5 NDBI

Al igual que el NDVI, este índice tiene valores que van desde [-1, 1], pero se utiliza para medir el medio construido, que, entre mayores valores, se relaciona con un medio más impermeabilizado.

Ocupa la misma lógica que el NDVI, pero mientras más grandes los valores, óptimos para construir el indicador de calidad climática. Entonces los valores negativos ocupan el máximo valor para la reclasificación, los valores positivos se dividieron en cuartiles con rangos equidistantes, mientras más cerca del 0, mayor valor tendrán tras ser reclasificados.

2.3.6 Calidad del Aire

Según la normativa que aplica a la fecha a partir de las Normas Primarias de Calidad del Aire en Chile.

En el decreto N°12 de la norma primaria de calidad ambiental para material particulado fino respirable MP2,5. En el artículo N°7 de la ley N°20.416 indica los siguientes rangos que levantan alerta, preemergencia y emergencia ambiental (Ver tabla N°12).

Concentración en 24 horas de MP2,5	
Nivel	µg/ m ³
Alerta	80 - 109
Preemergencia	110 - 169
Emergencia	170 o superior

Tabla 12: Niveles de emergencia por MP2,5.

Fuente: Ley N°20.416, 2022.

En base a estos criterios se generará una imagen ráster que con los siguientes valores.

- 3 para simular el escenario de Alerta, donde el PM2,5 se encuentra entre los rangos 80 – 109.
- 2 para simular el escenario de Preemergencia, donde el PM2,5 se encuentra entre los rangos 110 – 169.
- 1 para simular el escenario de Emergencia, donde el PM2,5 se encuentra por sobre 170.

2.3.7 Velocidad del viento

Mónica Cristina García (2019) señala que el efecto enfriador del viento se empieza a sentir desde los 0,3m/s. A partir de este valor, se estableció que el efecto que tiene el viento en la

sensación térmica es aliviador, es decir, para un verano en una ciudad con clima desértico, mayor presencia de vientos tienen un efecto positivo en el confort térmico. Aunque, después de los 37°C, el viento ya no tiene este efecto refrescante, si no que aumenta la sensación de calor (Givoni, 1998 en Andrade, Alcoforado & Oliveira, 2011)

Los datos de viento para la ciudad de Arica se tomaron de la estación Chacalluta, y en base a estas se analizaron los datos evaluados en conjunto con las consideraciones de los datos antes mencionados.

Esta estación se encuentra 7km al norte de Arica, en una planicie donde se ubica el Aeropuerto de Chacalluta, esta presumiblemente recibe más viento por lo que los valores que se miden se sobrestiman para la ciudad de Arica. Los valores que se calcularon para el verano fueron una velocidad de viento de 3.32m/s, y se definió el rango de confort entre 0,3 y 5,6m/s por hacer el cálculo de promedio más desviación estándar.

2.4 Propuesta de lineamientos para planificación sensible al clima

2.4.1 Revisión y recopilación bibliográfica

Para la definición de lineamientos para la planificación sensible al clima se realizó una revisión bibliográfica sobre ejemplos de planificación urbana que considerarán aspectos climáticos para el diseño de ciudades áridas. Luego, se hizo una búsqueda bibliográfica de políticas, programas y planes referentes a los instrumentos de ordenamiento y planificación territorial de Chile y su relación con el cambio climático, y en específico, de Arica.

2.4.1.1 Fuentes consultadas

Las fuentes consultadas con relación a planificación sensible al clima en ciudades áridas se extrajeron de la investigación y recopilación realizada por Thomas (2022). Para lo que respecta políticas, programas y planes se hizo una revisión de la Ley N°21.455 Marco Cambio Climático para conocer los instrumentos de gestión a escala nacional, regional y local. Para conocer los instrumentos de ordenamiento y planificación de la comuna de Arica se visitaron las páginas web institucionales (Ministerio de Medio Ambiente y Ministerio de Vivienda).

2.4.2 Cruce indicador calidad climática y plan regulador comunal

La propuesta sobre lineamientos sensibles al clima se relaciona con la aplicación de medidas de adaptación para el cambio climático, pues esta se relaciona directamente con los procesos de planificación del desarrollo a distintas escalas, lo cual permite hacer frente a los impactos y riesgos climáticos, con el objeto de reducir la vulnerabilidad, y aumentar la resiliencia a los efectos adversos del cambio climático (Ministerio de Medio Ambiente, 2023^a). En cambio,

las medidas de mitigación se basan en las fuentes y emisiones de gases de efecto invernadero, temática que no se evaluó en esta investigación.

De este modo, para diseñar las medidas de adaptación se realizó una comparación espacial del indicador de calidad climática en el escenario actual y futuro de la temperatura, con la zonificación del Plan Regulador Comunal (PRC) de Arica. Esto permitió definir qué sectores o zonificaciones del PRC presentan una mala calidad climática, entonces ello permitió proponer medidas de adaptación que se integren en el PRC para mejorar la calidad climática.

2.4.2.1 Fuentes consultadas

Las fuentes consultadas para la definir las medidas de adaptación fueron el Plan Adaptación al Cambio Climático para Ciudades del MINVU (2021) y la Guía de Evaluación Ambiental Estratégica para incorporar el Cambio Climático en Instrumentos de Ordenamiento y Planificación Territorial del MMA (2023). Así también se consultó la memoria explicativa del PRC de Arica, y se extrajo de la página Infraestructura de Datos Espaciales (IDE), la capa de información en formato vectorial del PRC.

CAPÍTULO 3: RESULTADOS

Los resultados obtenidos están organizados por objetivo propuesto, por lo que la primera sección da a conocer los resultados de la encuesta, para la construcción del indicador de calidad climática. Después de este se presenta la evaluación de la calidad climática para la ciudad de Arica en varios escenarios medidos, a través del indicador construido. Y, finalmente, se expone el resultado de la revisión bibliográfica y normativa sobre la planificación y el clima, para proponer lineamientos sensibles al clima para el área de estudio.

3.1 Construcción del Indicador

3.1.1 Influencia de las variables climático-ambientales sobre la calidad climática.

De las encuestas se obtuvieron principalmente dos resultados.

De la primera parte que se evaluó la preferencia de variables mediante un orden correlativo se obtuvieron los siguientes resultados:

- Para la primera pregunta, donde se evaluaba el indicador para una ciudad de clima árido, la variable con mayor importancia es la de cobertura vegetal, seguida por la de temperatura atmosférica y luego temperatura superficial. Mientras que la menos importante para este caso es la de distancia a cuerpos de agua.

Para una ciudad de clima árido	Cobertura Vegetacional	Temperatura Atmosférica	Temperatura Superficial	Humedad Relativa del Aire	Relación Altura edificación - Ancho Calle	Superficie Impermeable	Sky View Factor	Calidad del Aire	Dirección y Velocidad del Viento	Distancia a Cuerpos de Agua
Promedio	2,29	3,14	4,00	5,57	6,00	6,00	6,57	6,57	7,00	7,86

Tabla 13: Posición promedio de la variable según escenario de ciudad de clima árido.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

- La segunda pregunta, que evaluaba el indicador para una ciudad de tipo costera, la variable con mayor importancia fue la temperatura atmosférica, en segundo lugar, la cobertura vegetal y luego la temperatura superficial. La menos importante fue la de SVF.

Para una ciudad costera	Temperatura Atmosférica	Cobertura Vegetacional	Temperatura Superficial	Humedad Relativa del Aire	Dirección y Velocidad del Viento	Superficie Impermeable	Calidad del Aire	Distancia a Cuerpos de Agua	Relación Altura edificación - Ancho Calle	Sky View Factor
Promedio	1,71	3,43	4,00	4,43	5,14	5,57	6,86	7,00	7,86	9,00

Tabla 14: Posición promedio de la variable según escenario de ciudad de tipo costera.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

- Para la última evaluación de escenarios, se preguntó para una ciudad de tipo mediana, y las variables más importantes fueron, la temperatura atmosférica, cobertura vegetal y temperatura superficial, mencionadas en el mismo orden de importancia. La menos importante en esta fue la de SVF nuevamente.

Para una ciudad mediana	Temperatura Atmosférica	Cobertura Vegetacional	Temperatura Superficial	Superficie Impermeable	Humedad Relativa del Aire	Distancia a Cuerpos de Agua	Relación Altura edificación - Ancho Calle	Calidad del Aire	Dirección y Velocidad del Viento	Sky View Factor
Promedio	2,29	2,71	4,14	4,29	5,43	6,43	6,86	7,57	7,57	7,71

Tabla 15: Posición promedio de la variable según escenario de ciudad de tipo mediana.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Entonces según las respuestas dadas para cada escenario de ciudad mencionado, y añadiendo la respuesta sobre cuál de las variables era más importante para una ciudad en general para integrar el indicador, se promediaron las 4 preguntas dando el total señalado en la Tabla N°15.

	Temperatura Superficial	Temperatura Atmosférica	Cobertura Vegetacional	Superficie Impermeable	Humedad Relativa del Aire
Pregunta 1	4,43	2,29	3,14	5,43	5,71
Pregunta 2	4,00	3,14	2,29	6,00	5,57
Pregunta 3	4,00	1,71	3,43	5,57	4,43
Pregunta 4	4,14	2,29	2,71	4,29	5,43
Final	4,14	2,36	2,89	5,32	5,29
	Calidad del Aire	Distancia a Cuerpos de Agua	Relación Altura edificación - Ancho Calle	Dirección y Velocidad del Viento	Sky View Factor
Pregunta 1	5,57	6,71	6,71	7,43	7,57
Pregunta 2	6,57	7,86	6,00	7,00	6,57
Pregunta 3	6,86	7,00	7,86	5,14	9,00
Pregunta 4	7,57	6,43	6,86	7,57	7,71
Final	6,64	7,00	6,86	6,79	7,71

Tabla 16: Promedio de posición ordinal entre las variables.

Fuente: Elaboración propia 2023

Arica presenta los 3 escenarios evaluados en las preguntas, pues era la idea de que se pudiese describir Arica en distintas características climático-ambientales, nos da la oportunidad de determinar algunas características a otros lugares que comparta cualidades con Arica.

Los resultados recopilados respecto a la última pregunta del cuestionario, donde se mide la relación entre variables, (tabla N°17) indican que, según su grado de independencia, las variables con más independencia del resto son: Distancia a Cuerpos de Agua, Relación Alto calle-Ancho edificación, Dirección y Velocidad del Viento y Sky View Factor.

Los números marcados en rojo claro muestran con que variable son fuertemente relacionados o, si son en el campo de “0”, que son fuertemente independientes. Algunos de estos a destacar son:

- La Cobertura de Vegetación se relaciona positiva y fuertemente con las variables Humedad Relativa y Calidad del Aire. Y es fuertemente independiente de la variable Relación Alto edificación, Ancho calle.

- La Calidad del Aire es fuertemente independiente de la Temperatura Superficial y, recíprocamente con la variable antes vistas, tiene una relación positiva y fuerte con Cobertura Vegetacional.
- El caso de la Temperatura Superficial, este se relación positiva y fuertemente con 2 variables, Temperatura Atmosférica y Distancia a Cuerpos de Agua.

Otra situación que se puede notar es que la variable con mayor peso, la temperatura atmosférica, está dentro de las variables que menos tiene ausencia de relación, entonces se relaciona con la mayoría de las variables trabajadas.

	Tipo de Relación	Temp. Sup.	Temp Atm	Sup Veg	Sup Imp	H%	Calidad A.	Dist Agua	R. AC-AE	Dir y Vel Viento	SVF	Grado de independencia
Temperatura Superficial	1		5	5	5	1	1	2	3	1	4	
	0		2			3	5	3	2	5	2	22
	-1			2	2	3		2	2	1	1	
Temperatura Atmosférica	Tipo de Relación	Temp. Sup.	Temp Atm	Sup Veg	Sup Imp	H%	Calidad A.	Dist Agua	R. AC-AE	Dir y Vel Viento	SVF	
	1	6		3	2	1	2	6	3	2	4	
	0	1		1	2	1	4		2	5	2	18
Cobertura Vegetacional	-1			3	3	5	1	1	2		1	
	Tipo de Relación	Temp. Sup.	Temp Atm	Sup Veg	Sup Imp	H%	Calidad A.	Dist Agua	R. AC-AE	Dir y Vel Viento	SVF	
	1	4	2		3	6	6			3	3	
Superficie Impermeable	0		1		1	1			7	3	2	15
	-1	3	4		3		1			1	2	
	Tipo de Relación	Temp. Sup.	Temp Atm	Sup Veg	Sup Imp	H%	Calidad A.	Dist Agua	R. AC-AE	Dir y Vel Viento	SVF	
Humedad Relativa del Aire	1	4	2		3		3			2	2	
	0	2	2	1		1	3	5	3	4	4	25
	-1	1	3	3		3	1	2	2	1	1	
Calidad del Aire	Tipo de Relación	Temp. Sup.	Temp Atm	Sup Veg	Sup Imp	H%	Calidad A.	Dist Agua	R. AC-AE	Dir y Vel Viento	SVF	
	1	1	3	6	2		3	5	4	3	4	
	0	4	1	1	1		2	1	2	3		15
Distancia a Cuerpos de Agua	-1	2	3		4		2	1	1	1	3	
	Tipo de Relación	Temp. Sup.	Temp Atm	Sup Veg	Sup Imp	H%	Calidad A.	Dist Agua	R. AC-AE	Dir y Vel Viento	SVF	
	1	1	2	7	3	5		3	3	5	3	
Relación Altura edificación - Ancho Calle	0	6	5		3	1		3	3	2	2	25
	-1				1	1		1	1		2	
	Tipo de Relación	Temp. Sup.	Temp Atm	Sup Veg	Sup Imp	H%	Calidad A.	Dist Agua	R. AC-AE	Dir y Vel Viento	SVF	
Dirección y Velocidad del Viento	1	3	4	2		4	4			1	3	1
	0	2	1	4	6	1	2		5	3	5	29
	-1	2	2	1	1	2	1		1	1	1	
Sky View Factor	Tipo de Relación	Temp. Sup.	Temp Atm	Sup Veg	Sup Imp	H%	Calidad A.	Dist Agua	R. AC-AE	Dir y Vel Viento	SVF	
	1	5	3	2	1	4	3			4	4	
	0	1	1	5	5	2	2	6		2	2	26
Sky View Factor	-1	1	3		1	1	2	1		1	1	
	Tipo de Relación	Temp. Sup.	Temp Atm	Sup Veg	Sup Imp	H%	Calidad A.	Dist Agua	R. AC-AE	Dir y Vel Viento	SVF	
	1	1	3	1	3	1	3	2	5		4	
Sky View Factor	0	5	3	4	3	4	4	3	2		3	31
	-1	1	1	2	1	2		2				
	Tipo de Relación	Temp. Sup.	Temp Atm	Sup Veg	Sup Imp	H%	Calidad A.	Dist Agua	R. AC-AE	Dir y Vel Viento	SVF	
Sky View Factor	1	5	2	2	1	1	3		6	4		
	0	1	4	3	6	3	2	6	1	3		29
	-1	1	1	2		3	2		1			

Tabla 17: Nivel de relación entre las variables.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

3.1.2 Jerarquización de variables

El resultado final de la posición relativa de las variables fue promediado entre las 4 preguntas como se muestra en la Tabla N°18. Se aplica en la tabla mencionada una multiplicación con el exponente 1^{-1} , para que la lectura de los valores tenga una relación directa con su importancia, mientras más grande el valor mayor importancia.

	Temperatura Superficial	Temperatura Atmosférica	Cobertura Vegetacional	Superficie Impermeable	Humedad Relativa del Aire
Final	4,14	2,36	2,89	5,32	5,29
Elevado a -1	0,24	0,42	0,35	0,19	0,19
	Calidad del Aire	Distancia a Cuerpos de Agua	Relación Altura edificación - Ancho Calle	Dirección y Velocidad del Viento	Sky View Factor
Final	6,64	7,00	6,86	6,79	7,71
Elevado a -1	0,15	0,14	0,15	0,15	0,13

Tabla 18: Valores asignados a las variables según la importancia relativa indicada por los Expertos.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Teniendo en consideración los valores mostrados en la tabla anterior (Tabla N°17), es que se llena la matriz de comparación simplificada para obtener posteriormente el peso de las variables.

Se rellenaron dos matrices, en una se agregan las siguientes 6 variables: temperatura superficial, temperatura atmosférica, cobertura vegetal, superficie impermeable, humedad relativa del aire y distancia a cuerpos de agua. Mientras que la segunda matriz se compone de las siguientes 8: temperatura superficial, temperatura atmosférica, cobertura vegetal, superficie impermeable, humedad relativa del aire, calidad del aire, distancia a cuerpos de agua, dirección y velocidad del viento.

Resultado del cruce de variables en la matriz de comparación simplificada arrojo el peso de las variables primeramente evaluadas. Como se puede ver en la siguiente Tabla (N°19), las dos variables con mayor peso fueron temperatura atmosférica y cobertura vegetal. Y aquella con menor peso fue distancia a los cuerpos de agua.

Variable	Peso porcentual
Temperatura Superficial	13,71
Temperatura Atmosférica	35,89
Cobertura Vegetacional	27,96
Superficie Impermeable	9,97
Humedad Relativa	8,48
Distancia a cuerpos de agua	4,00
Total	100,00

Tabla 19: Peso porcentual evaluando 6 variables.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

El resultado del cruce de la otra matriz de comparación simplificada arrojó el peso de las 8 variables utilizadas. Como se puede ver en la Tabla N°20, el peso orden de las variables se mantiene igual dentro de las más importantes. Pero al verse más variables agregadas, estos disminuyen un poco su ponderación.

Variable	Peso porcentual
Temperatura Superficial	14,70
Temperatura Atmosférica	31,54
Cobertura Vegetacional	24,77
Superficie Impermeable	7,87
Humedad Relativa del Aire	7,86
Calidad del Aire	5,11
Distancia a Cuerpos de Agua	3,80
Dirección y Velocidad del Viento	4,34
Total	100,00

Tabla 20: Peso porcentual evaluando 8 variables.
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Una vez obtenidos estos pesos se resolvió en una evaluación multicriterio, usando el software ArcGis Pro, usando la herramienta de “Raster calculator”, para asignar el valor dado a cada variable.

3.2 Calidad Climática en la ciudad de Arica

Como se puede ver en la Figura N°8 las clasificaciones de calidad climática “muy baja” y “muy alta” no aparecen. En este mapa el nivel de calidad climática regular es el más predominante, mientras que el nivel de calidad climática baja es el que menor superficie presenta.

Los sectores con alta calidad climática se encuentran en los distritos costeros de la ciudad, y también en sectores cercanos al río San José. Los distritos con alto nivel de calidad climática son: Puerto, El Morro, Regimiento y Carlos Dittborn. En todos los demás distritos predomina la calidad climática regular.

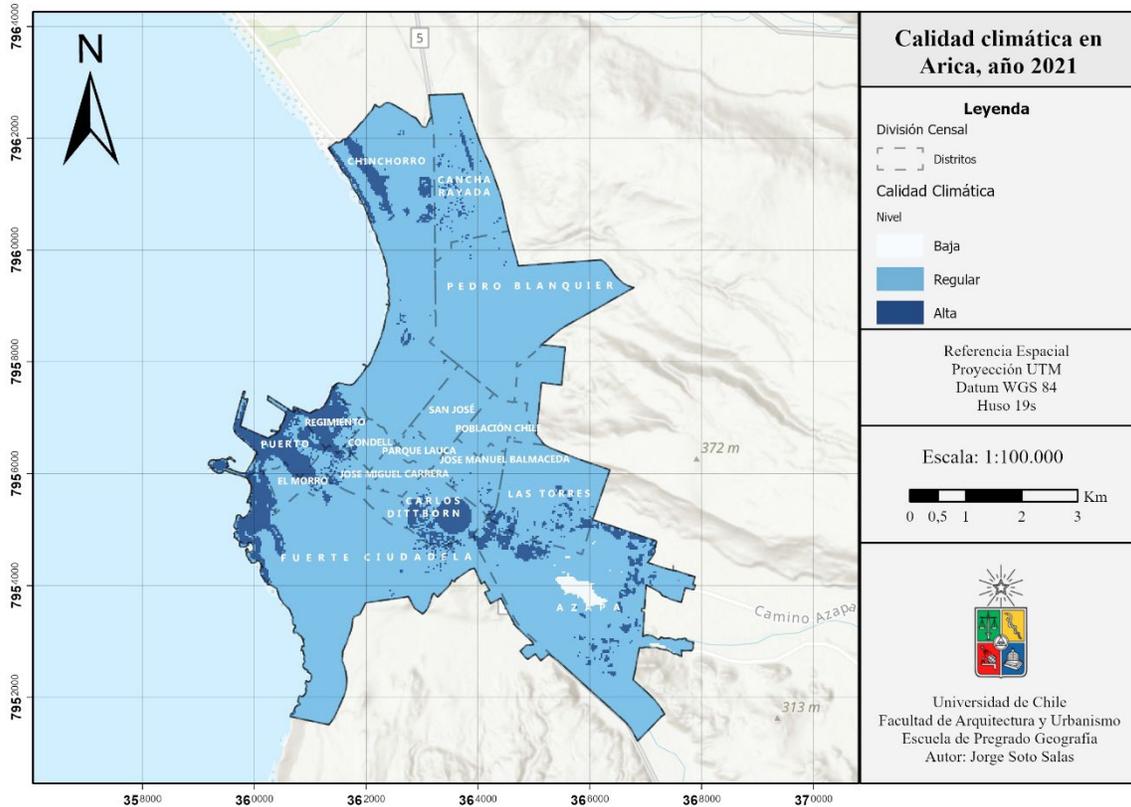


Figura 9: Cartografía de Calidad Climática en Arica para el año 2021.
Fuente: Elaboración Propia, 2023

3.1.3 Evaluación distintos escenarios de temperatura.

En esta sección se presentan los mapas evaluados con las mismas 6 variables anteriormente usadas, pero se intercambia el valor de la temperatura atmosférica medida a las 16:00 hrs, por la temperatura diurna promedio, temperatura máxima, ola de calor y temperatura proyectada a futuro.

La presente cartografía (Figura N°9) tiene una calidad climática predominantemente alta, y pequeñas zonas con calidad regular en los distritos periféricos de la ciudad. Todos los distritos de la ciudad de Arica presentan una alta calidad climática en este escenario, aunque podemos destacar que los distritos Fuerte Ciudadela, Azapa, Pedro Blanquier, Cancha rayada y Chinchorro, que se ubican en la periferia presentan pequeños sectores con calidad climática regular.

La alta calidad climática se debe a que el escenario de temperatura la diurna promedio presenta valores óptimos en relación con los rangos de temperatura del rango de confort térmico. De todos los escenarios evaluados, este mapa es el que presenta mayor cantidad de zonas con muy alta calidad climática.

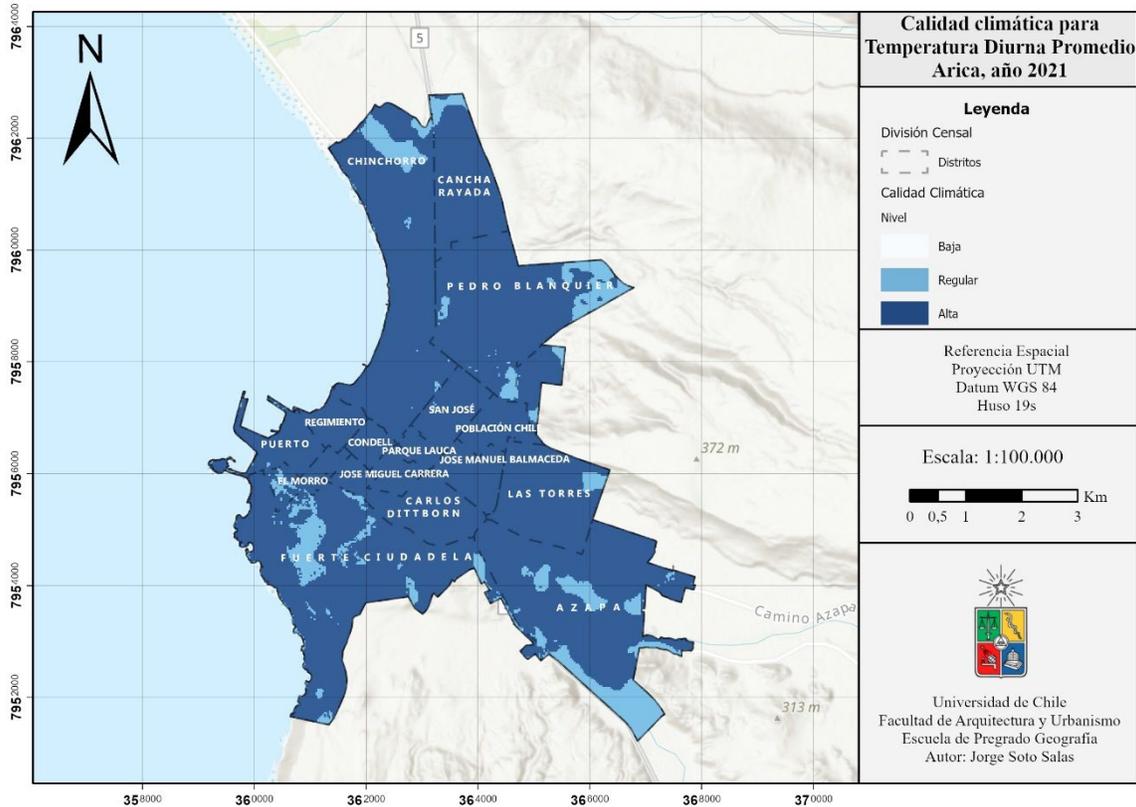


Figura 10: Cartografía de Calidad Climática para Temperatura Diurna Promedio en Arica para el año 2021.

Fuente: Elaboración Propia, 2023.

En la cartografía sobre el escenario de temperatura máxima (Figura N°10), se puede observar que los niveles regulares y de alta calidad climática son los únicos presentes en este mapa. Se puede observar un pequeño patrón de distribución de calidades climáticas, donde los distritos costeros presentan mejor calidad climática que aquellos más alejados de la costa, patrón que se ve haciendo menos presente para los distritos de la zona norte.

Los distritos que presentan un nivel regular de calidad climática son: Puerto, Regimiento, El morro, Condell y Población Chile. Mientras que aquellos que presentan calidad baja son: Azapa, José Miguel Carrera y Parque Lauca. Los demás presentan una presencia mixta de calidades regular y baja.

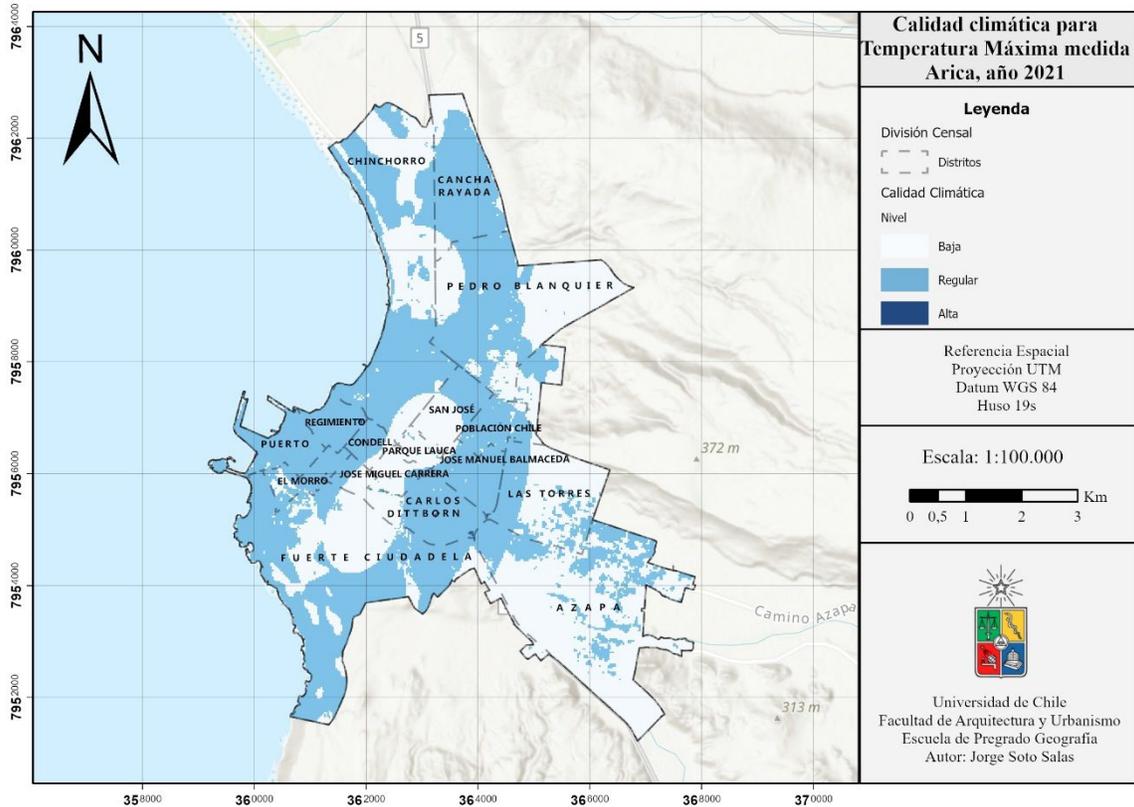


Figura 11: Cartografía de Calidad Climática para Temperatura Máxima medida en Arica para el año 2021.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Para el escenario de ola de calor (Figura N°11), se puede observar que la totalidad de los distritos presentan un valor de calidad climática baja. De los distritos costeros se puede observar pequeñas áreas de calidad regular.

Aquí también se observa que los distritos Puerto y Regimiento presentan mejor calidad que los distritos de la ciudad.

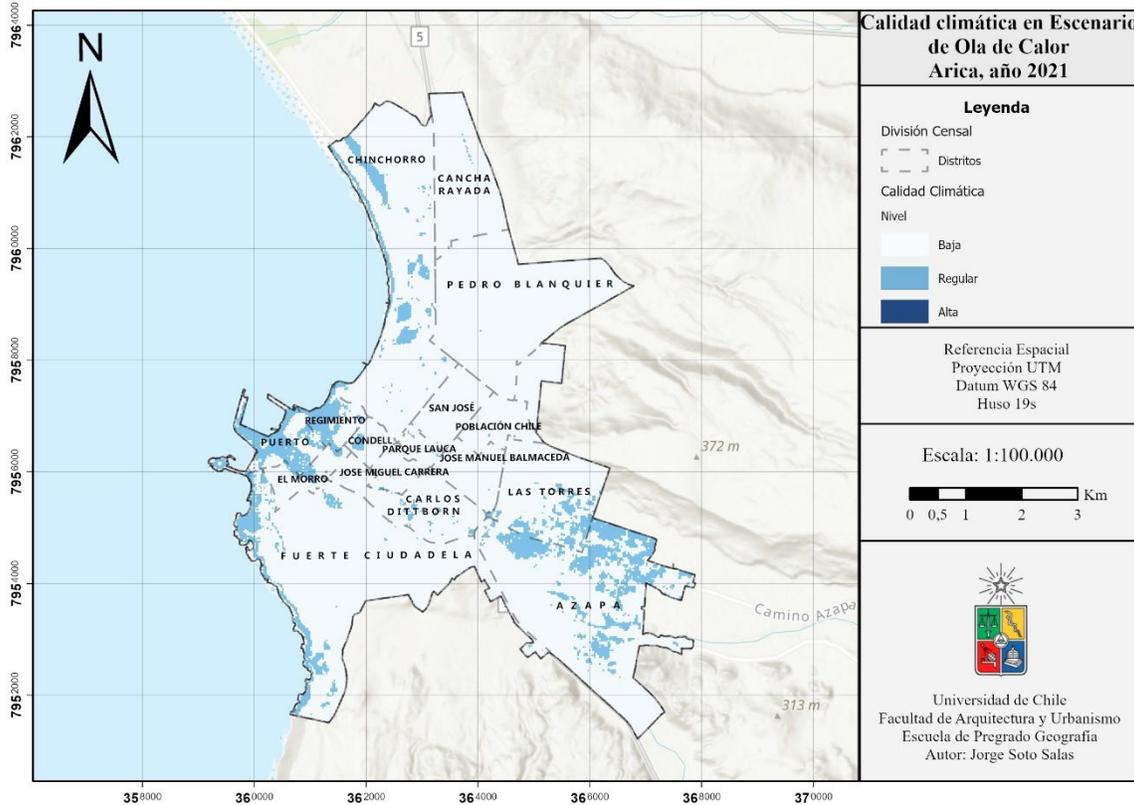


Figura 12: Cartografía de Calidad Climática en Escenario de Ola de Calor en Arica para el año 2021.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Para la cartografía de calidad climática nacional y de aumento de temperaturas (figura N°12), se puede observar que la mayor parte de la ciudad presenta una calidad climática regular. Hay cuatro distritos que presentan una superficie con baja calidad, de los que se pueden destacar: Azapa, Pedro Blanquier, Fuerte Ciudadela, y entre los distritos de Parque Lauca y San José.

De los escenarios evaluados, 3 de estos corresponden escenarios observados, mientras que los otros 2 son escenarios posibles. Entre los 3 escenarios observados que se evalúan (temperatura promedio registrada a las 16:00 horas, temperatura diurna promedio y los datos de temperatura del día que registro mayor temperatura en verano) el que presenta mejor calidad de los 3 es de temperatura diurna promedio, donde predomina el nivel de alta calidad climática, mientras que el peor de estos es el de temperatura máxima.

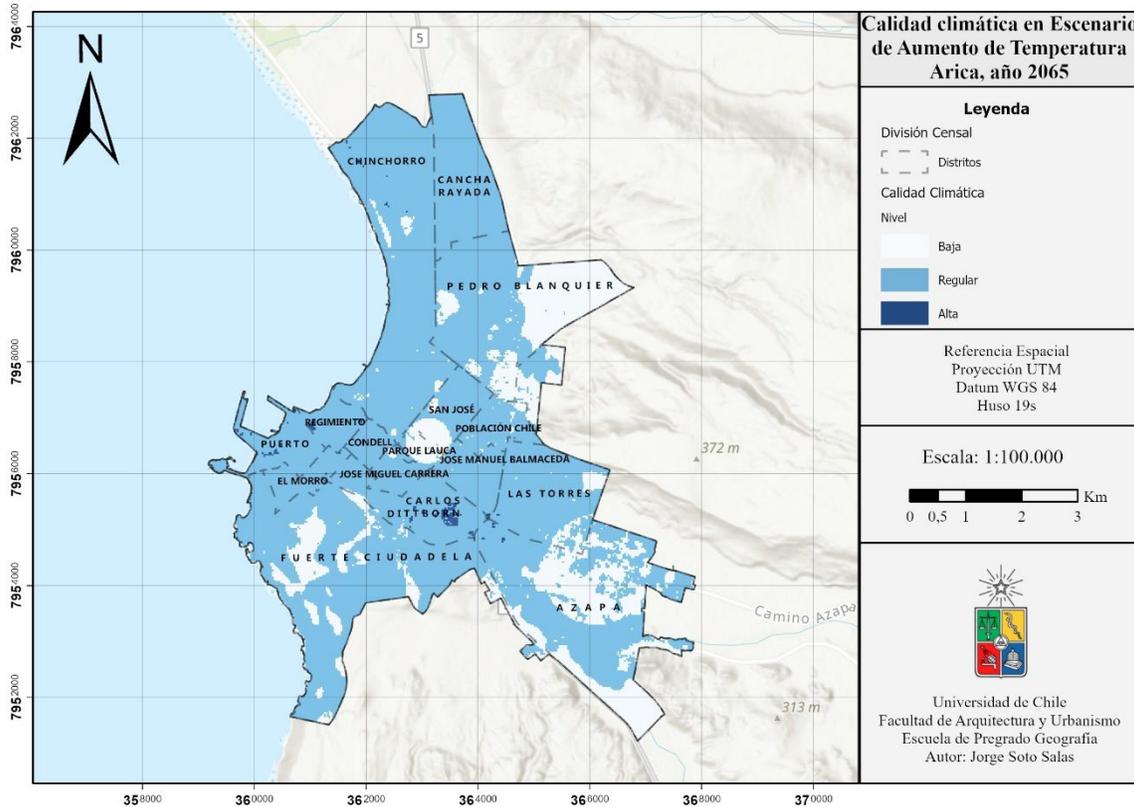


Figura 13: Cartografía de Calidad Climática en Escenario de Aumento de Temperaturas en Arica para el año 2065.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Comparando la cartografía de calidad climática en escenario de ola de calor, con el de mapa de calidad climática principal (promedio a las 16:00 horas), se puede notar un exagerado aumento de baja calidad en las zonas que antes eran predominantemente de calidad regular.

Para el último caso, comparando la cartografía de calidad climática principal con respecto al escenario de aumento de temperatura, el nivel de calidad regular es el principal en ambos casos, también se observa una notable disminución de superficie de alta calidad climática, que pasa a ser regular.

3.1.4 Evaluación de variables sin componente espacial.

En el siguiente apartado se realiza la construcción del indicador con 8 variables, de las 6 integradas anteriormente se evalúan la variable de Velocidad de Vientos y Calidad del Aire.

3.1.4.1 Evaluación escenarios velocidad del Viento

A partir de la cartografía de calidad climática en escenario de viento calmo (Figura N°13), se nota mayoritariamente una calidad regular en el territorio, con pequeñas áreas de alta calidad en la zona costera.

Los distritos que presentan una alta calidad climática corresponden a los distritos Puerto, El morro, Regimiento y Carlos Dittborn. Y el único distrito que presenta una presencia de baja calidad climática es el distrito de Azapa.

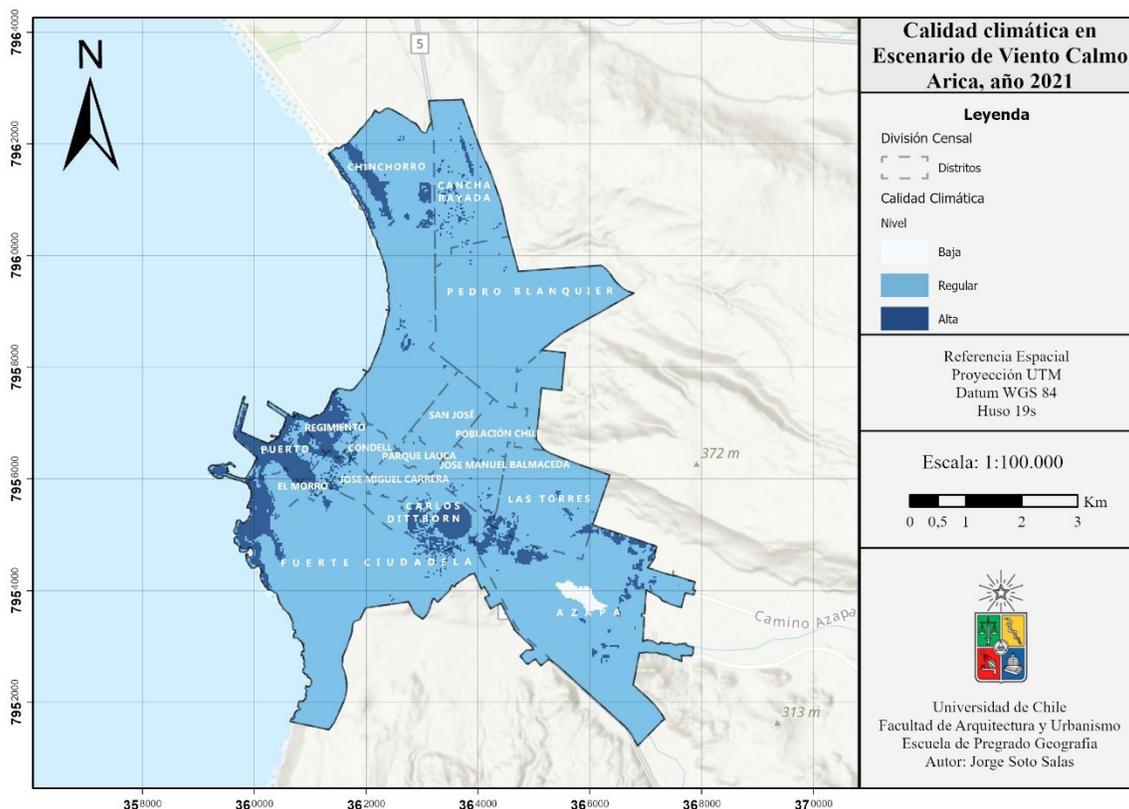


Figura 14: Cartografía de Calidad Climática en escenario de Viento Calmo en Arica para el año 2021.

Fuente: Elaboración Propia, 2023.

En la cartografía de calidad climática en escenarios de viento confortable (Figura N°14) la mayoría de la superficie corresponde a calidad climática regular, tienes zonas importantes con alta calidad climática sobre todo en los lados de la costa, sectores cercanos al río San José y en la zona norte.

Los distritos con de calidad climática alta son: Puerto, Regimiento, El morro, Carlos Dittborn y Cancha rayada.

A diferencia de la cartografía de vientos calmos, esta presenta un aumento en las áreas correspondientes a la alta calidad climática. Los distritos que presentan mayores cambios, presentando un cambio de presentar una calidad predominantemente regular a un alta fueron: El morro, José Manuel Balmaceda y Cancha rayada.

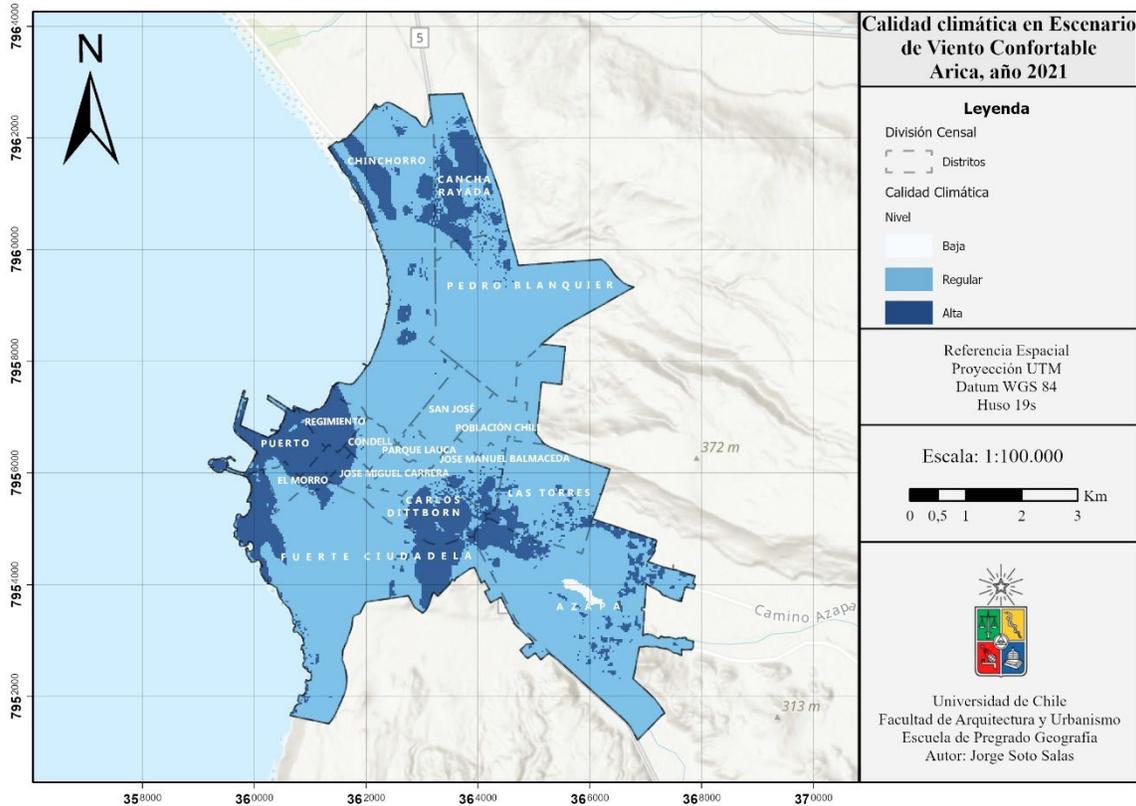


Figura 15: Cartografía de Calidad Climática en Escenario de Viento Confortable en Arica para el año 2021.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

3.1.4.2 Evaluación escenarios de Calidad del Aire.

Para la cartografía de calidad climática en un escenario de alerta por MP2,5, Figura N°15.

La cartografía de calidad climática en escenario de alerta por MP2,5 presenta predominantemente un nivel de calidad climática regular, luego la calidad con más presencia es la de alta calidad y la que menos aparición tiene es

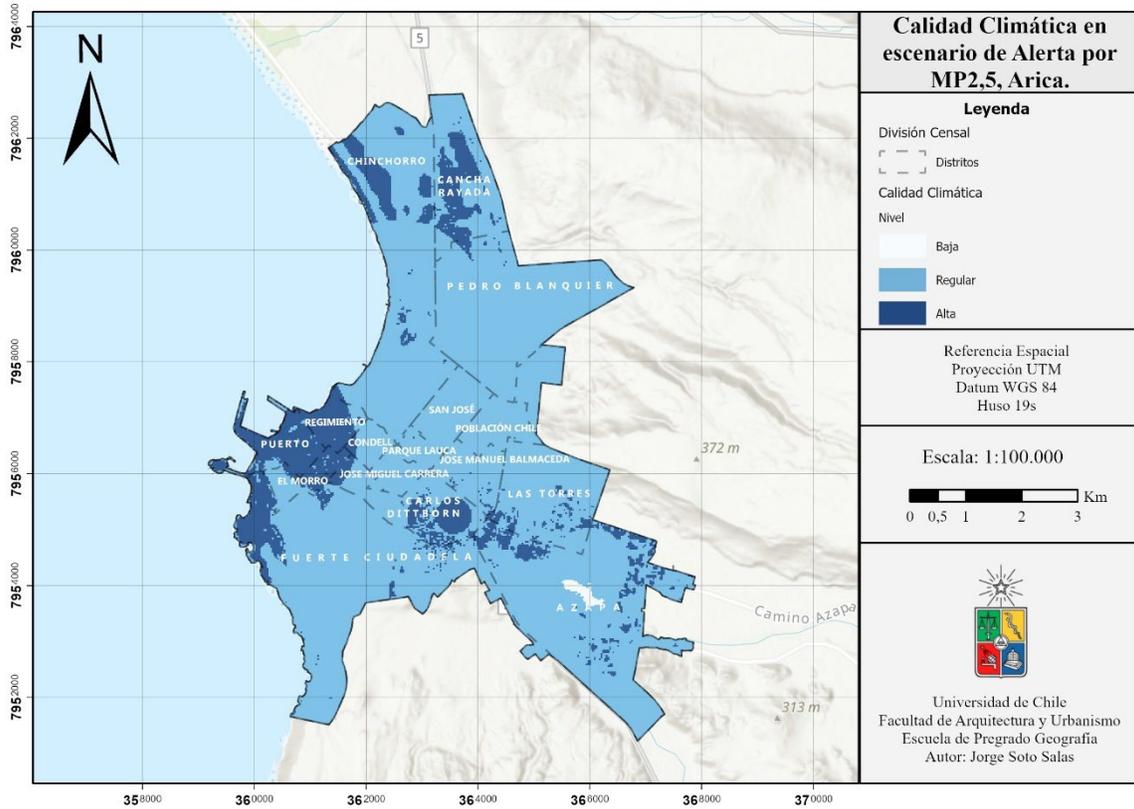


Figura 16: Cartografía de Calidad Climática en Escenario de Alerta por MP2,5 en Arica para el año 2021.

Fuente: Elaboración Propia, 2023.

En el escenario de preemergencia por MP 2,5 (figura N°16) se puede notar un cambio, con respecto al escenario de alerta, en los distritos de Cancha rayada y El morro, pasando de ser predominantemente de alta calidad climática, a uno de calidad regular.

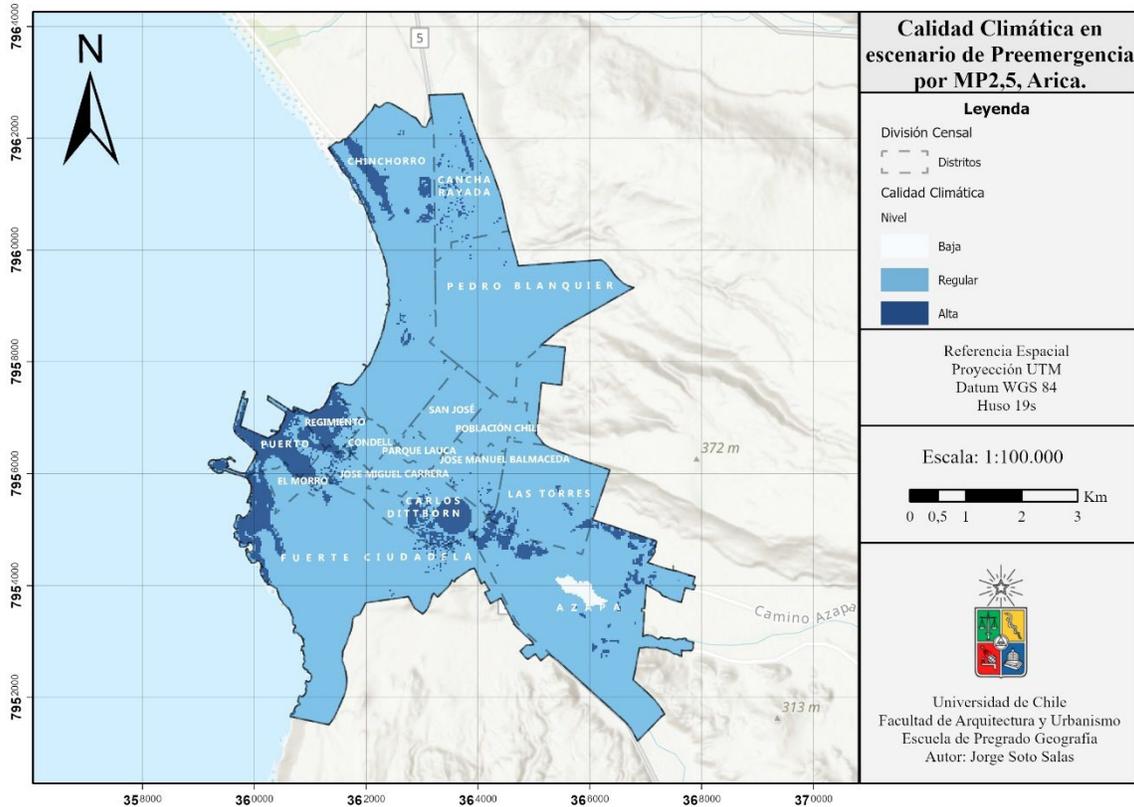


Figura 17: Cartografía de Calidad Climática en Escenario de Preemergencia por MP2,5 en Arica para el año 2021.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

En la cartografía de calidad climática en escenario de emergencia por MP 2,5 (figura N°17) hay una disminución en la superficie de alta calidad climática, pasando a ser de calidad regular. El principal distrito afectado por este cambio es el de Carlos Dittborn.

En los 3 mapas se puede ver una constante presencia de alta calidad climática en 2 núcleos. Un núcleo corresponde al sector de los distritos Puerto y Regimiento, y el otro núcleo se encuentra en el distrito de Carlos Dittborn. Conforme aumenta el nivel de emergencia dichos núcleos disminuyen la superficie correspondiente a alta calidad climática, mientras que aumenta la calidad de tipo regular. El distrito de Cancha rayada es el más afectado ya que pasa de, en el escenario de alerta, una alta calidad climática a, en el escenario de preemergencia y emergencia, a una calidad climática regular. El área de baja calidad climática se mantiene constante dentro del distrito de Azapa.

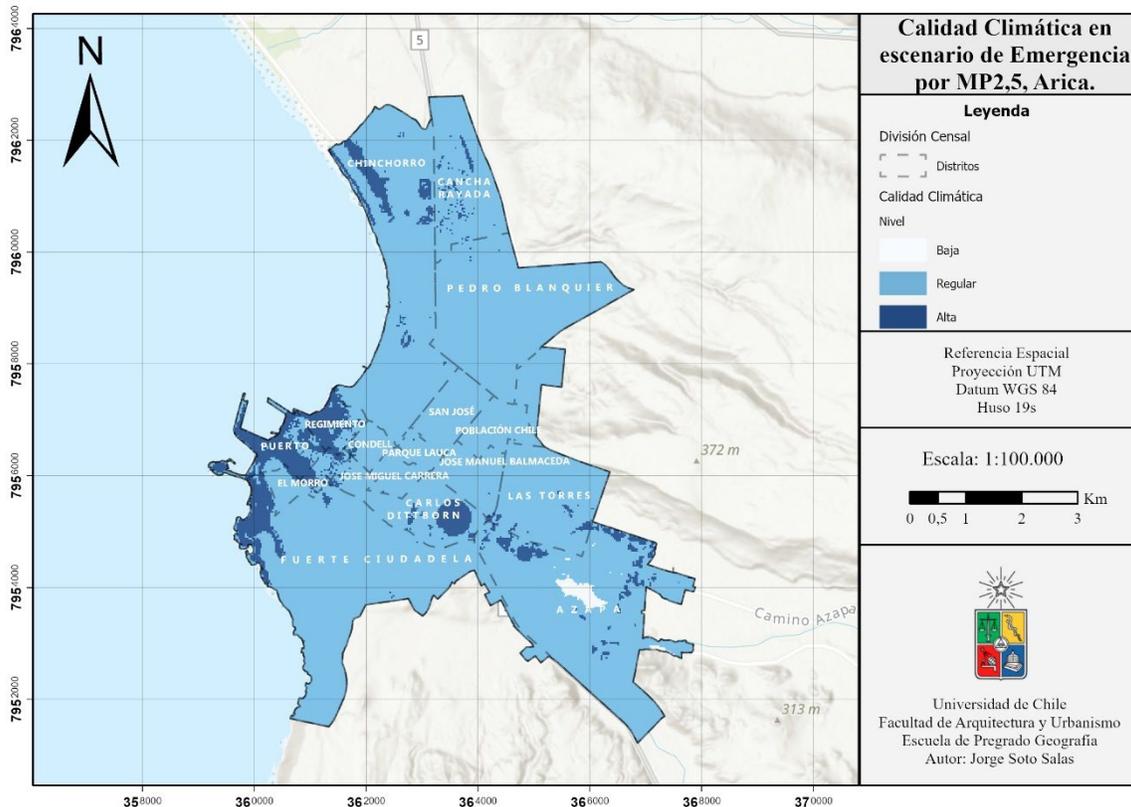


Figura 18: Cartografía de Calidad Climática en Escenario de Emergencia por MP2,5 en Arica para el año 2021.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

3.3 Propuestas de planificación sensible al clima para la ciudad de Arica.

Luego de la aplicación del indicador de calidad climática en la ciudad de Arica, se procede a proponer lineamientos para contribuir a una planificación sensible al clima. Para ello, primero se presentan las experiencias que han aplicado diseños urbanos en ciudades áridas. Asimismo, se indican las propuestas e investigaciones que proponen diseños urbanos considerando aspectos ambientales para la ciudad de Arica.

Luego, se presentan los instrumentos de ordenamiento y planificación territorial en la comuna de Arica y sus consideraciones en aspectos climáticos. Finalmente, a través de la espacialización de los sectores con mala calidad climática y los instrumentos de planificación territorial que norman el suelo urbano de la comuna de Arica, se proponen medidas de adaptación climática para aplicar en los instrumentos de planificación urbana, en específico en el Plan Regulador Comunal, para mejorar la calidad climática de la comuna, como un insumo al momento de que el municipio aplique la Guía de Evaluación Ambiental Estratégica para incorporar el Cambio Climático en Instrumentos de Ordenamiento y Planificación Territorial.

3.3.1 Propuestas que consideran lineamientos de planificación sensible al clima en ciudades áridas.

Según la recopilación realizada por Thomas (2022) se presenta la Tabla N°21 donde se puede apreciar una serie de planes de diseño urbano en diversas ciudades áridas que buscan mitigar y/o aprovechar los efectos que pueda tener la isla de calor, además de mitigar los efectos del aumento de las temperaturas, además se agregan otros estudios y consideraciones que se han propuesto para Arica.

Factor	Ciudad	Medidas consideradas	Fuentes
Materialidad y propiedades térmicas de las superficies	Tampico, Mendoza	Evaluar las materialidades de las superficies, conservar espejos de agua, evitar grandes concentraciones de asfalto.	Evans & De Schiller, 2005; Correa <i>et al</i> , 2006; Alchapar, 2012
Colores de las superficies	Copiapó	Potenciar el uso de colores más claros o cercanos al blanco para aumentar el albedo.	Gómez, 2014
Forestación urbana y manejo de áreas verdes	Mendoza	Promover el arbolado urbano, conservar zonas de vegetación urbana, promover el uso de vegetación en predios particulares, estudiar por separado las especies adaptadas a los suelos, aprovechar las potencialidades higrotérmicas.	Kurban, 2002; Evans & De Schiller, 2005
Morfologías urbanas	Mendoza	Dar relevancia a la trama azimutal, tanto para mitigar como para aprovechar los efectos de la ICU. Vincular superficie y volumen construido con ancho de calles (H/W), vincular forestación con estudio del confort térmico.	Castro <i>et al</i> , 2017
Azoteas	Mexicali	Elaborar estrategias de aumento de albedo y emitancia térmica en azoteas, elaborar estrategias de forestación de azoteas para aumento de sombra, disminución de la temperatura y reducir la carga térmica de la edificación.	Villanueva-Solis <i>et al</i> , 2013
Azoteas	Arica	Propone implementar el Programa Techos Ecológicos, que busca agregar en los techos arreglos de césped o plantas ornamentales.	CEDEUS, 2014
Materialidad y	Arica	Evaluar la antigüedad de los materiales	Thomas, 2022

propiedades térmicas de la superficie		puesto que existen morfologías antiguas que presentan oxidación, sobre todo en techumbres y que aumentan la temperatura superficial.	
Colores de las superficies		Replicar en más zonas de la ciudad colores blancos en fachadas y techumbres.	
Forestación urbana y manejo de áreas verdes		Por otro lado, se debe potenciar la presencia del río San José como cuerpo de agua, el cual se entiende como un agente refrescante de la temperatura y desmotivar la implementación de grandes explanadas de asfalto y evitar la impermeabilización. Promover la conservación de las coberturas vegetacionales existentes y fomentar la intervención de nuevas áreas verdes sin perjuicio de un mal manejo del recurso hídrico y, en la medida de lo posible, utilizar especies nativas. Asimismo, potenciar aquellas iniciativas que emanan desde la sociedad civil y que intervienen el territorio generando espacios de áreas verdes sin impermeabilizar los usos de suelo.	

Tabla 21: Propuestas de lineamientos de planificación sensible al clima para ciudades áridas.

Fuente: Elaboración propia en base a Thomas (2022), 2023.

3.3.2 Instrumentos de ordenamiento y planificación territorial de la comuna de Arica con consideraciones climáticas.

La entrada en vigor de la Ley N°21.455 Marco de Cambio Climático establece una serie de obligaciones institucionales y normativas, así como también la creación de instrumentos y guías para llevar a cabo las indicaciones que determina la ley. En este sentido, con respecto a lo indicado para la gestión del Cambio Climático se establecen instrumentos que presentan las directrices a seguir para elaborar medidas de mitigación y adaptación frente al cambio climático. Estos instrumentos pueden revisarse en la Tabla N°22.

Instrumento	Derivados	Escala	Quién elabora	Directrices climáticas
Estrategia Climática a Largo Plazo	Planes Sectoriales de Mitigación del Cambio Climático	Nacional	Ministerio de Medio Ambiente	Establecerán el conjunto de acciones y medidas para reducir o absorber gases de efecto invernadero, de manera de no sobrepasar el presupuesto sectorial de emisiones asignado a cada autoridad sectorial en

				la Estrategia Climática de Largo Plazo
	Planes Sectoriales de Adaptación al Cambio Climático	Nacional	Cada Ministerio	Establecerán el conjunto de acciones y medidas para lograr adaptar al cambio climático aquellos sectores con mayor vulnerabilidad y aumentar su resiliencia climática, de conformidad con los objetivos y las metas de adaptación definidas en la Estrategia Climática de Largo Plazo
	Reporte de Acción Nacional de Cambio Climático	Nacional	Cada Ministerio	Contiene las políticas, planes, programas, normas, acciones y medidas, sea que estén contempladas en instrumentos de gestión del cambio climático o hayan sido propuestas por otros organismos públicos, con el objetivo de monitorear e informar su estado de avance en el corto plazo.
Planes de Acción Regional de Cambio Climático	-	Regional	Comités Regionales	Definir los objetivos e instrumentos de la gestión del cambio climático a nivel regional y comunal, los que deberán ajustarse y ser coherentes con las directrices de la Estrategia Climática de Largo Plazo, los Planes Sectoriales de Mitigación y Adaptación, los planes comunales de mitigación y adaptación, así como los Planes Estratégicos de Recursos Hídricos de Cuencas, cuando existan.
Planes de Acción Comunal de Cambio Climático	-	Comunal	Municipio	Caracterización de la vulnerabilidad al cambio climático y potenciales impactos en la comuna; Medidas de mitigación, adaptación a nivel comunal y relativas a los medios de implementación, incluyendo la identificación de sus fuentes de financiamiento a nivel comunal; Descripción detallada de las medidas que consideran, con indicación de plazos de implementación y asignación de responsabilidades, y Indicadores de monitoreo, reporte y verificación de cumplimiento de las medidas del plan, conforme a la Estrategia Climática de Largo Plazo.
Planes Estratégicos de Recursos	-	Local	Ministerio de Obras Públicas	Contribuir con la gestión hídrica, identificar las brechas hídricas de agua superficial y subterránea, establecer el balance hídrico y sus

Hídricos en Cuencas				proyecciones, diagnosticar el estado de información sobre cantidad, calidad, infraestructura e instituciones que intervienen en el proceso de toma de decisiones respecto al recurso hídrico y proponer un conjunto de acciones para enfrentar los efectos adversos del cambio climático sobre el recurso hídrico, con el fin de resguardar la seguridad hídrica.
---------------------	--	--	--	---

Tabla 22: Instrumentos de Gestión propuestos por la Ley N°21.455.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Según lo presentado en la Tabla N°23 los instrumentos de gestión que señala la Ley Marco de Cambio Climático buscan orientar y determinar, a modo general, los lineamientos a seguir según cada escala de aplicación, nacional, regional y local. En este sentido, el instrumento principal y directriz es la “Estrategia Climática a Largo Plazo”, ya que de esta deben los demás instrumentos guiarse.

Cabe mencionar que, al momento, solo la Estrategia Climática a Largo Plazo ha sido publicada. En cuanto a los Planes de Acción Regional hay tres pilotos para las regiones de Atacama, O’Higgins y Los Ríos, donde hasta el momento el único aprobado es el de la región de O’Higgins. Y, respecto a los Planes de Acción Comunales aún no se han desarrollado, hasta el momento se ha lanzado en junio del presente año una “Guía de apoyo para la formulación de Planes de Acción Comunales de Cambio Climático”.

En este contexto, la Ley N°21.455 también indica que los instrumentos de ordenamiento y planificación territorial deben considerar aspectos ambientales relativos a medidas de mitigación y adaptación. No obstante, como se mencionó anteriormente, aún los instrumentos de los cuales hay que seguir las directrices no están diseñados.

A pesar de lo anterior, se realiza una revisión de los instrumentos de ordenamiento y planificación territorial de la comuna de Arica para conocer de modo general el contexto territorial con relación a los riesgos climáticos, así como también las medidas que se están tomando por el momento. De esta manera, en la Tabla N°23 se presenta lo dicho anteriormente.

Instrumentos	Riesgos climáticos evidenciados	Medidas para mitigar riesgos climáticos
Plan Regulador Comunal (2009, modificación 2021)	No se identifica una zonificación o mención como tal a Riesgo Climático.	Se determina como Zona Especial: zona protección infraestructura urbana.

	<p>Se identifican amenazas naturales, definiendo Zonas Espaciales como: zona inundable o potencialmente inundable; zona de riesgo por rodados y/o remoción en masa.</p> <p>Asimismo, se señala como riesgo la contaminación ambiental.</p>	<p>Se establecen restricciones de desarrollo urbano en zonas de riesgo.</p> <p>También se realizan restricciones de actividades productivas cerca a sectores residenciales por contaminación ambiental.</p>
<p>Plan Regulador Intercomunal (2018) Arica – Putre</p>	<p>Se identifican zonas con riesgos de escasez hídrica. Así también, se menciona como amenaza el cambio climático.</p> <p>También indican riesgos por amenazas naturales como remoción en masa, riesgo volcánico y riesgo por inundaciones.</p>	<p>Propone consideraciones normativas de conectividad para evitar aislamiento ante presencia de riesgos; consolidar Sistemas de Áreas Verdes intercomunales; generar orientaciones para preservación de reservorios de agua.</p>
<p>Plan de Desarrollo Comunal (2021 – 2030)</p>	<p>Señala el desconocimiento de los efectos del cambio climático en la región, degradación ambiental.</p> <p>Efectos del cambio climático en la crecida de ríos y aumento de las temperaturas.</p>	<p>Propuesta de acciones contra el Cambio Climático: potenciar energía solar, cuidado de los ecosistemas, profundizar la movilidad urbana, emisiones cero.</p>

Tabla 23: Instrumentos de ordenamiento y planificación territorial vigentes en la comuna de Arica y riesgos climáticos.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Como se puede ver en la Tabla N°23 los instrumentos normativos (PRC) no hablan como tal de los riesgos climáticos, lo cual se debe a que el diseño de estos fue anterior a la promulgación de la “Guía de Evaluación Ambiental Estratégica para incorporar el Cambio Climático en Instrumentos de Ordenamiento y Planificación Territorial”. En cambio, en lo que respecta al PLADECO, este instrumento si incorpora aspectos a avanzar por efectos del cambio climático, aunque añaden un desconocimiento acerca de los impactos directos que este puede provocar. A pesar de ello, se proponen una serie de iniciativas ambientales que se pueden apreciar en la Tabla N°24, donde la Iniciativa 206 se destaca, ya que demuestra una preocupación por parte de la municipalidad monitorear aspectos de la calidad del aire, lo cual, si es aplicado, sería una oportunidad muy buena para conocer sobre la distribución de la calidad del aire y así aplicar medidas específicas para mejorarla o mitigarla.

197	Creación de instalación para guarda parques humedal	DIMAO	Humedales	Comuna
198	Política comunal de protección y cuidado de áreas verdes protegidas	DIMAO	Humedales	Comuna
199	Promover la extensión de los espacios de protección del humedal	SECPLAN	Humedales	Borde costero
200	Actualización de ordenanza comunal de ruido	DIMAO/JURIDICO	Política ambiental comunitaria	Comuna
201	Ampliación y consolidación de la red de micro reservas para la conservación del picaflor de Arica	DIMAO/JURIDICO	Política ambiental comunitaria	Rural
202	Ampliación y consolidación de la red de reciclaje	DIMAO	Política ambiental comunitaria	Comuna
203	Cierre perimetral del rio san José	SECPLAN	Política ambiental comunitaria	San José
204	Construcción de centro de rescate de la fauna marina	DIMAO/SECPLAN	Política ambiental comunitaria	Borde costero
205	Habilitación de playa brava (estudios de ingeniería y contaminación)	SECPLAN / DITUR	Política ambiental comunitaria	Sur
206	Implementación sistema monitoreo de calidad del aire	DIMAO	Política ambiental comunitaria	Comuna
207	Ordenanza municipal reducción de pasto en áreas verdes	SECPLAN/JURIDICO	Política ambiental comunitaria	Comuna
208	Ordenanza municipal sobre las características de la iluminación pública no afecten a la biodiversidad	SECPLAN/JURIDICO	Política ambiental comunitaria	Comuna
209	Plan de educación ambiental y buenas prácticas agrícolas	DIDECO/DIMAO	Política ambiental comunitaria	Comuna
210	Plan de educación ambiental y buenas prácticas medio ambientales	DIDECO/DIMAO	Política ambiental comunitaria	Comuna
211	Plan de fiscalización ambiental empresarios agrícolas	DIMAO	Política ambiental comunitaria	Rural
212	Programa de manejo de vectores	DIMAO	Política ambiental comunitaria	Comuna

Tabla 24: Iniciativas por dirección comunal, subdimensión y distrito.

Fuente: Secretaría Comunal de Planificación, 2021.

3.3.3 Propuestas de medidas de adaptación climática para la ciudad de Arica

Para definir las medidas de adaptación climática que se propondrán para la ciudad de Arica, primero se presentan los objetivos, ejes estratégicos y las líneas de acción que contempla el Plan de Adaptación Nacional al Cambio Climático para Ciudades realizado por el MINVU (revisar Figura N°18), en el cual dentro de los ejes estratégicos esta la “planificación urbana y ordenamiento territorial” y sus líneas de acción buscan trabajar en los instrumentos de planificación territorial y normas urbanas, lo que señala la importancia de trabajar en estos instrumentos para la adaptación y reducción de vulnerabilidad frente a los efectos del cambio climático.



Figura 19: Objetivos, ejes estratégicos y líneas de acción del Plan Adaptación al Cambio Climático para Ciudades.

Fuente: MINVU, 2021.

Debido a que la presente investigación busca aportar medidas de adaptación para instrumentos de planificación territorial, en la Tabla N°25 se desglosan las medidas y acciones que propone el Plan de Adaptación Nacional al Cambio Climático para Ciudades según Línea de Acción “Instrumentos de Planificación Territorial y normas urbanas”.

Líneas de acción	Medidas	Acciones
Instrumentos de Planificación Territorial y normas urbanas	Perfeccionar la identificación del riesgo en las distintas escalas de planificación territorial	Perfeccionar la identificación del riesgo en las distintas escalas del ordenamiento y planificación territorial, en consideración del cambio climático y enfoque integral de reducción del riesgo de desastres.
		Formular lineamientos para perfeccionar el contenido de los estudios de Riesgo para la formulación de IPT atendiendo las distintas escalas de planificación
		Incluir dentro de las condiciones de elegibilidad del Programa de Asistencia Técnica y Financiera de IPT del MINVU, de un enfoque integral de adaptación al cambio climático y

		reducción de riesgo de desastres, impulsando un enfoque preventivo.
		Elaboración de los PROT en consideración de las directrices establecidas en el Objetivo Estratégico N°3 de la PNOT.
	Mejorar la identificación y protección de áreas de valor ambiental relevantes para las ciudades	Línea base de biodiversidad y servicios ecosistémicos (oferta y demanda) para las áreas urbanas y periurbanas y generación.
		Elaboración de estándar de provisión de servicios ecosistémicos, que permita clasificar zonas e identificar brechas.
		Generar guía para la elaboración de Estudios de Protección Ambiental para Instrumentos de Planificación Territorial.
	Avanzar en la definición de estándares de planificación y urbanización para evitar lesiones o pérdida de vidas, medios de subsistencia y bienes ante impactos climáticos.	Definición de criterios para la ubicación y redundancia de equipamientos que deben mantenerse en funcionamiento durante eventos climáticos extremos.
		Avanzar en la definición de estándares de urbanización para facilitar la evacuación hacia zonas seguras ante eventos climáticos extremos.
		Definición de criterios que permitan prevenir y manejar los efectos de los incendios forestales sobre los centros poblados.
		Definición de estándares para la habilitación de albergues durante eventos climáticos extremos.

Tabla 25: Acciones según medida propuesta para Línea de Acción “Instrumentos de Planificación Territorial y normas urbanas”.

Fuente: Elaboración propia en base a MINVU, 2018.

De acuerdo con la revisión y presentación de propuestas de diseños urbanos con respecto a la planificación sensible al clima en climas áridos, conociendo los instrumentos de

ordenamiento y planificación territorial presentes en la comuna de Arica y revisado el Plan de Adaptación Nacional de Cambio Climático para Ciudades, se indicarán las medidas de adaptación para disminuir la mala calidad climática que se presenta en sectores urbanos de la comuna.

Para determinar estas áreas se pueden observar dos de las cartografías producidas en los resultados de este trabajo evaluando la calidad climática actual y futura. Actualmente los que se puede ver es que hay una zona principalmente afectada por una baja calidad climática, esta se encuentra en el distrito de Azapa y es la única presente. Pero teniendo en consideración el aumento de temperatura de la ciudad en un futuro, el área de baja calidad climática aumenta drásticamente.

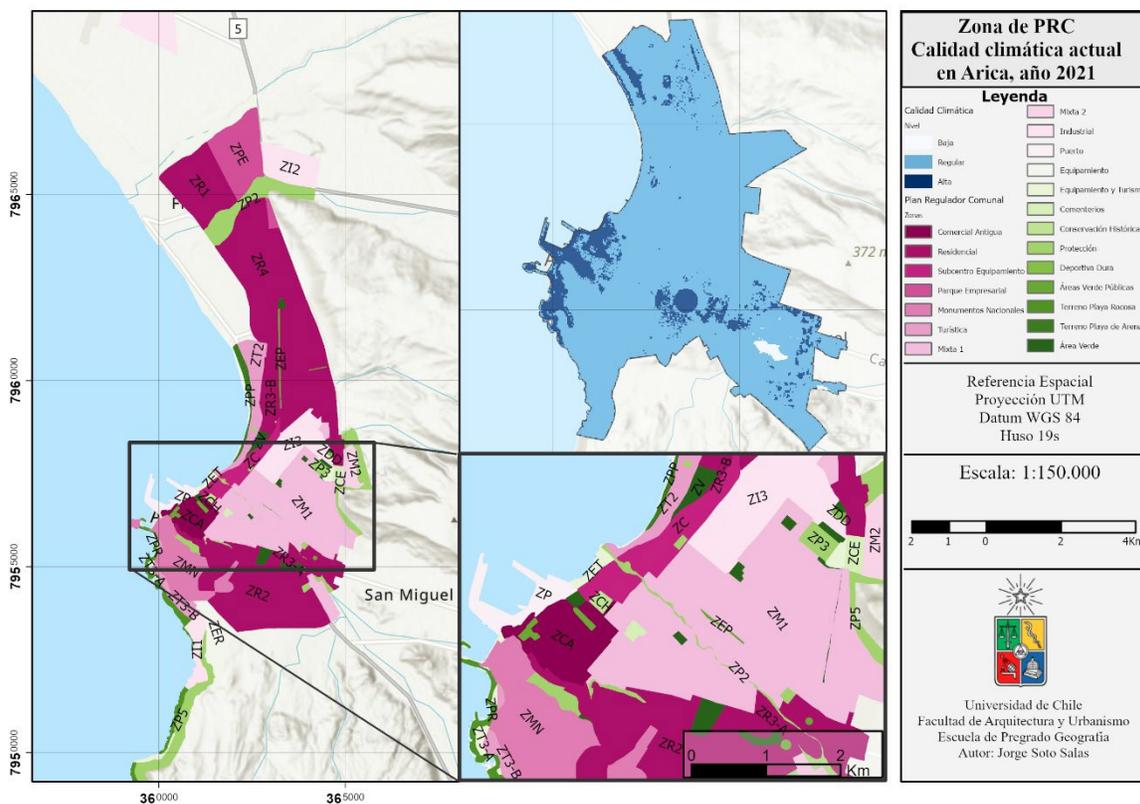


Figura 20: Cartografía de zonas del PRC y Calidad Climática actual en Arica
Fuente Elaboración propia, 2023

Como se puede apreciar en la Figura N°19, las áreas de baja calidad aumentan considerablemente en el escenario futuro, dejando expuestas a una peor calidad climática a varios sectores de la ciudad, entre los sectores que se pueden ver, están afectados los distritos de Pedro Flanquier, Azapa, Las torres, Fuerte ciudadela Parque Lauca y San José.

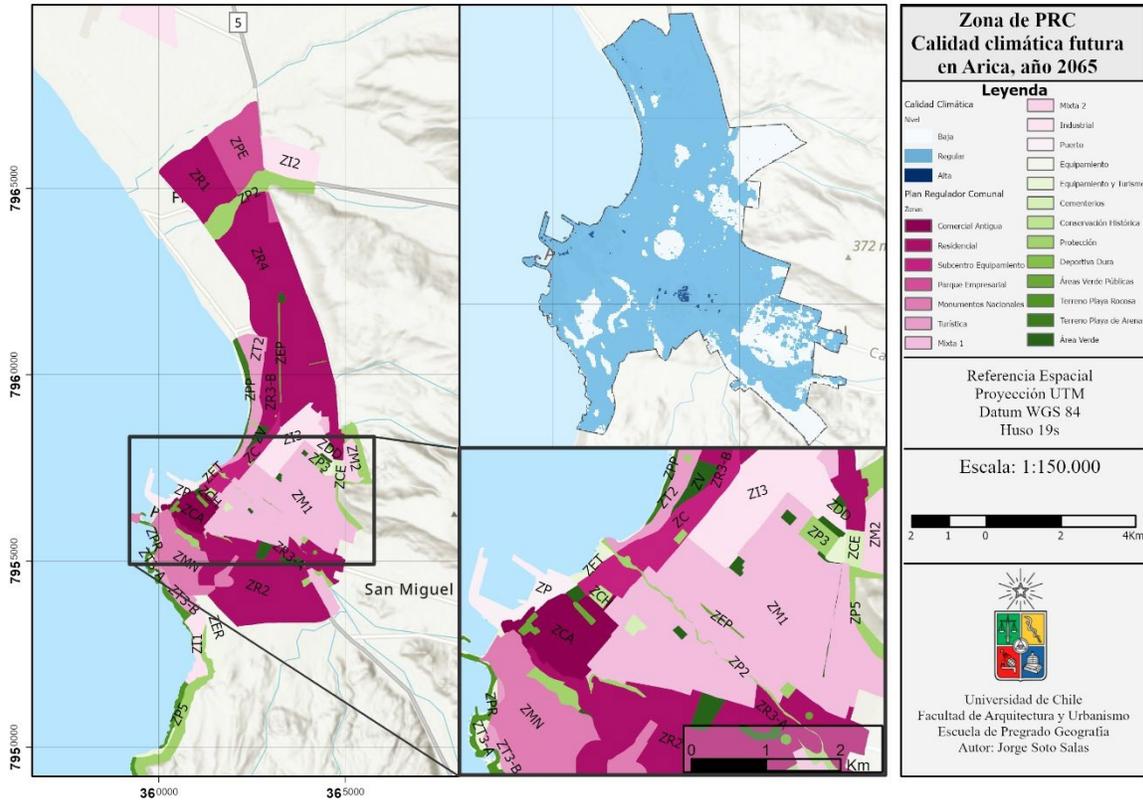


Figura 21: Cartografía de zonas del PRC y Calidad Climática futura en Arica.
 Fuente Elaboración propia, 2023

Entre el PRC y el área urbana, como se puede ver en la cartografía (Figura N°20), se puede observar no coinciden en límites y figuras, en el distrito de Azapa y Pedro Blanquiere el área urbana ha crecido, por lo que estas áreas, aunque son críticas, no pueden ser analizadas con la zonificación. Para las áreas afectadas que, si se pueden encontrar en la zonificación del PRC, podemos encontrar:

- En el distrito Pedro Blanquiere, las zonificaciones presentes son: Zona residencial (ZR2), Zona Industrial (ZI3) y en menor medida, Zona Deportiva (ZDD), Zona de protección urbana y de rodados (ZP3 y ZP5) y Zonas de Área Verde (ZV).
- En los distritos Parque Lauca y San José la principal zonificación es de Zona Mixta (ZM1)
- El distrito de Fuerte Ciudadela presenta la zonificación de Zona de Monumento Nacional (ZMN) y Zona Residencial (ZR2)
- Azapa presenta las siguientes zonificaciones: Zona Residencial (ZR3-A), Zona Mixta (ZM1) y Zona de Protección (ZP2)
- El distrito de Las torres presenta las siguientes zonificaciones: Zona Residencial (ZR3-A), Zona Mixta (ZM1) y Zona de Protección (ZP2)

Dicho lo anterior, en la Tabla N°26 se presentan propuestas de medidas de adaptación al cambio climático para incorporar al PRC. En esta, se pueden visualizar tres medidas para ciertas zonificaciones definidas en el PRC y el nivel de calidad climática que presentan, según las Figuras N°19 y Figura N°20.

Medida de adaptación	Zonificación PRC	Nivel de Índice Calidad Climática
Para construcción de estacionamientos que ocupe materiales semipermeables. Como adoquines.	Zona Mixta 1 (San José, Parque Lauca)	Nivel de calidad regular en el presente; baja en el futuro.
Áreas verdes. Vegetación de tipo arbórea en conjunto y distribuida en unidades dispersas.	Zona Residencial 2 Densidad Media (Fuerte Ciudadela, Pedro Blanquier)	Nivel de calidad regular y baja en el presente; baja en el futuro.
Viviendas. Fachada de vivienda pintadas de colores claros o en su defecto blanco y grises.	Zona Residencial 3 de densidad media (Azapa, Las torres)	Nivel de calidad regular en el presente; baja en el futuro.

Tabla 26: Propuestas de medidas de adaptación por Zona del PRC y su valor de calidad climática.

Fuente: Elaboración propia, 2023.



Figura 22: San José ZM1.

Fuente: Google Earth Pro. 2023



Figura 23: Parque Lauca ZM1
Fuente: Google Earth Pro. 2023

En relación con la Tabla N°26, con respecto a la primera medida de adaptación se recomienda normar en el PRC que como esta zona es mixta (Figuras N°21 y N°22), es decir, permite equipamientos, actividad productiva y residencias, para la infraestructura de índole vehicular, como estacionamientos exteriores, se construyan con materiales porosos para que permitan la filtración de agua y que la superficie no quede completamente impermeabilizada. Ejemplo de estas medidas son el uso de pavimento permeables para Sistemas Urbanos de Drenajes Sostenibles, con el fin integrar infraestructura urbana hidrológica-paisajística que filtre, infiltre, escurra y/o almacene el agua lluvia (Perales & Domenech, 2008; Castro-Fresno *et al.*, 2013; Ramos *et al.*, 2013), donde países como Estados Unidos, Australia, Reino Unido, Francia, Holanda, Alemania han aplicado estos sistemas (Fuentes, 2015). Como se puede ver en la Figura N°23, estos son los diversos tipos de pavimentos permeables.

Cabe indicar que se propone esta medida para Arica, principalmente, porque el tener superficies permeables disminuyen las temperaturas en comparación con las superficies impermeables, y de modo complementario, puede usarse como un sistema de drenaje y captación de aguas.



Figura 24: Diferentes tipos de pavimentos permeables.

Fuente: Fuentes citando a William, 2015.

En la segunda medida de adaptación esta se realizaría en zonas definidas por el PRC como zonas residenciales (ver Figura N°24), las cuales según el nivel de calidad climática es regular, por lo que fortalecer las áreas verdes del lugar con parches árboles (nativos o de poca exigencia hídrica) pueden generar una mejora en la calidad climática y en el confort térmico de la población. Para que sea una medida efectiva se recomienda la implementación de parches de árboles, pues inciden más en la temperatura que aquellos que se encuentran solos y dispersos. En este sentido, se habla de la aplicación de Infraestructura Verde debido a que los espacios verdes urbanos entregan una variedad de servicios ecosistémicos, como sus beneficios en la adaptación y mitigación frente a los efectos adversos generados por el cambio climático (Vásquez, 2016). Ejemplos de ellos son la Red Verde de Londres (Reino Unido), Corredor Ribereño del Río Mapocho (Chile), Parque Urbano El Bosque (Chile), Parque Fluvial del río Arga Pamplona (España), Plan Municipal de Infraestructura Verde de Mérida (México), la mayoría de ellos implementados a nivel comunal, exceptuando el corredor ribereño, y con una de sus finalidades mejorar la calidad del aire.



Figura 25: Pedro Blanquier ZR2
Fuente: Google Earth Pro. 2023

Si bien, estas iniciativas de infraestructura verde no están dadas en contextos áridos como es la ciudad de Arica, si demuestra la importancia de la aplicación de parches con vegetación y su impacto en la calidad del aire, en la disminución de la temperatura atmosférica y el confort térmico.



Figura 26: Azapa y Las torres ZR3-A
Fuente: Google Earth Pro. 2023

Respecto a la tercera medida de adaptación, esta se localizaría en zonas residenciales (ver Figura N°25) según lo normado por el PRC, las que se encuentran alejadas del centro de la ciudad, y en estos sectores, se pueden ver grandes espacios sin aparición de ningún área verde, por lo que también evaluar el cambio de color de cobertura de fachadas en las casas puede contribuir a mejorar la calidad del clima. En relación con ello, utilizar colores claros o

blancos, según estudios realizados por Alchapar & Correa (2011, 2012, 2015) determinaron que el color determina el comportamiento de la temperatura superficial, así como también el uso de ciertos materiales y su estado, donde a escala urbana una selección de colores claros y materiales con texturas permite reducir en 3° la temperatura del aire y 12° la temperatura de superficies. Ejemplo de lo anterior, se puede visualizar en ciudades mediterráneas y costeras el uso del color blanco en sus fachadas, como se puede ver en la Figura N°26.



Figura 27: Ciudades con color blanco en fachadas.
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cabe mencionar que las medidas de adaptación propuestas se basan en una recopilación bibliográfica con respecto a investigaciones académicas, a los instrumentos, guías, planes, estrategias que dicta la Ley N°21.455, y a la aplicación del indicador de calidad climática propuesto en esta investigación. En este sentido, se debe aclarar que estas propuestas de medidas de adaptación buscan guiar y ser un insumo para el municipio de Arica, en el momento en que deban incluir consideraciones climáticas en sus instrumentos de ordenamiento y planificación territorial.

CAPÍTULO 4: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

4.1.1 Construcción del instrumento

La encuesta fue una herramienta que presentó potencialidades y limitaciones. Una de las potencialidades fue la visualización en lista de las variables, facilitando la asociación relativa entre estas, facilidad que sirvió aún más debido a que se presenta un gran número de variables. También la evaluación de contextos presenta una potencialidad, ya que el registro de las valoraciones realizadas por los expertos puede quedar como registro y, para futuras investigaciones, el dato se encuentra listo para aplicarse en situaciones similares; bajo esta cadena de encuestas se pueden evaluar un variado número de contextos, y con estos contextos se pueden evaluar muchas más ciudades sin tener que repetir una encuesta en caso futuro.

Esta forma de determinar el peso de las variables, mediante preguntas de orden de preferencia, resulta conveniente también para excluir variables para realizar una mayor variedad de análisis, ya que, si se hubiese preguntado por una valoración directa de peso a estas variables, excluir variables resultaría más difícil de determinar, lo que implicaría realizar una encuesta nueva.

Por otra parte, una limitante que tuvo la encuesta fue que, en la etapa de diseño y construcción del instrumento, en el sitio web survio.com al rellenar el formulario en la sección de cruce de variables, este no tenía un formato de tabular datos, ni tampoco calcular con operaciones básicas (suma, resta, multiplicación y división), y en esta que en específico se repetían datos por el cruce de variables, ya que un dato de columna X con la fila Y, se debía repetir en la columna Y con fila X, se dificultaba tanto la visualización como rellenar el formulario por parte de los encuestados.

4.1.2 Indicador de calidad climática

En la medición de datos es importante tener una buena cantidad de datos tomados y una cantidad de puntos de medición prudente y dispersa en la ciudad, pues estas condiciones iniciales determinarían la representatividad espacial que tendrán las mediciones e influenciarían también el análisis de indicadores que necesitan una media histórica para poder servir en un análisis más profundo.

Para el caso de calidad del aire y de velocidad de viento, no hubo problema con los datos, pero sí con la cantidad de puntos de medición, porque al ser un único punto el que tiene datos históricos de temperatura y ser el único punto de medición de vientos, la estación Chacalluta. En este caso, no se pudo dar variabilidad espacial a los datos, por lo que el aporte al indicador era de imágenes planas y simples, quitándole complejidad al territorio.

Al realizar el indicador, no se identificaron patrones a una pequeña escala, como para poder identificar diferencias a nivel de manzana, sino que en este caso se encontraron variaciones a nivel de distritos. Esto se puede deber a que la reclasificación de imágenes arroja grandes áreas de un solo valor causado por el criterio dado. Además, el dato del criterio es en relación con rangos identificados a través una revisión bibliográfica, no a la distribución de datos, por lo que no todos los valores de calidad se encuentran en las reclasificaciones, lo que disminuye el número de rangos, y disminuye el nivel de detalle del mapa.

La evaluación de escenarios es una herramienta que resultó útil para el análisis pues, ayuda a trabajar con valores de variables que no se pueden obtener, o en los casos de las variables de velocidad de viento y de calidad del aire, al no tener una diferencia espacial por la cantidad de puntos de medición, lo que permite ahondar en el análisis espacial según los escenarios evaluados.

Estudios similares de calidad climática y un semejante de calidad climática ambiental se han hecho en Chile.

En el caso de la zonificación de calidad climática ambiental en Antofagasta (Henríquez *et al.*, 2019) se puede ver que el nivel de detalle en este mapa está compuesto en base a las manzanas censales. Para la construcción de este indicador se evaluaron dos variables, la cobertura vegetal y la temperatura superficial, que bajo métodos remotos se pudieron construir. Como estas variables se trabajaron por composición de imágenes tienen una información medida para cada píxel de superficie en el territorio, a diferencia del trabajo realizado en la presente memoria de título que las variables que se calcularon de este modo se añadieron otras variables que usaron métodos de interpolación, pasando a un método medido de datos a uno de predicción.

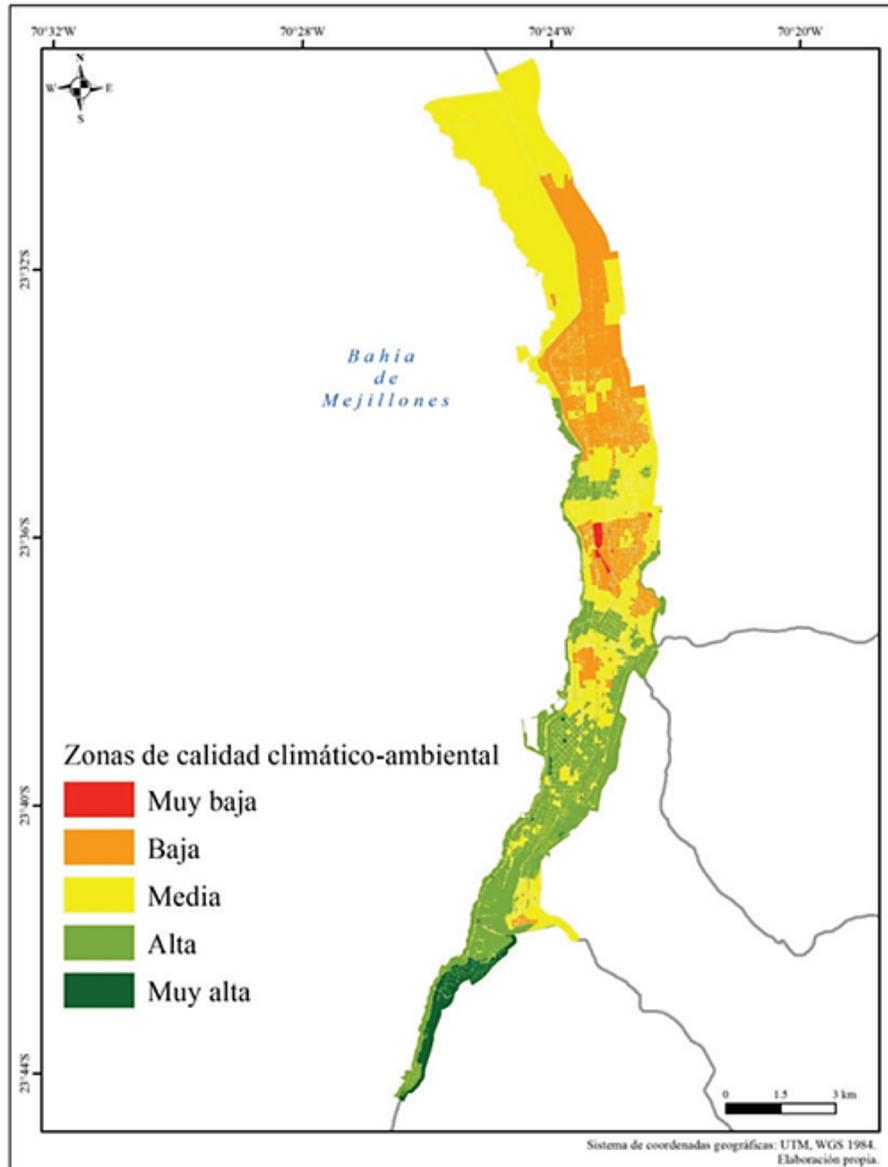


Figura 28: Zonas climático-ambientales de Antofagasta, periodo 2013-2014.

Fuente: Henríquez et al., 2019.

Mientras que, para la calidad climática medida en Chillán, por Smith (2018), se usan un menor número de variables que en el trabajo realizado en esta memoria de título, dichas variables utilizadas son vegetación, temperatura atmosférica, temperatura de emisión superficial, humedad relativa del aire, calidad del aire, distancia a cursos de agua, ratio altura de las edificaciones y ancho de las calles y superficie impermeables.

El método de ponderación de variables difiere en que se valora con una encuesta expertos la asignación del peso directo, a diferencia del caso realizado en este trabajo que fue realizado por orden de preferencia.

Todo lo anterior aporta a un mayor nivel de detalle que se logra a escala local.

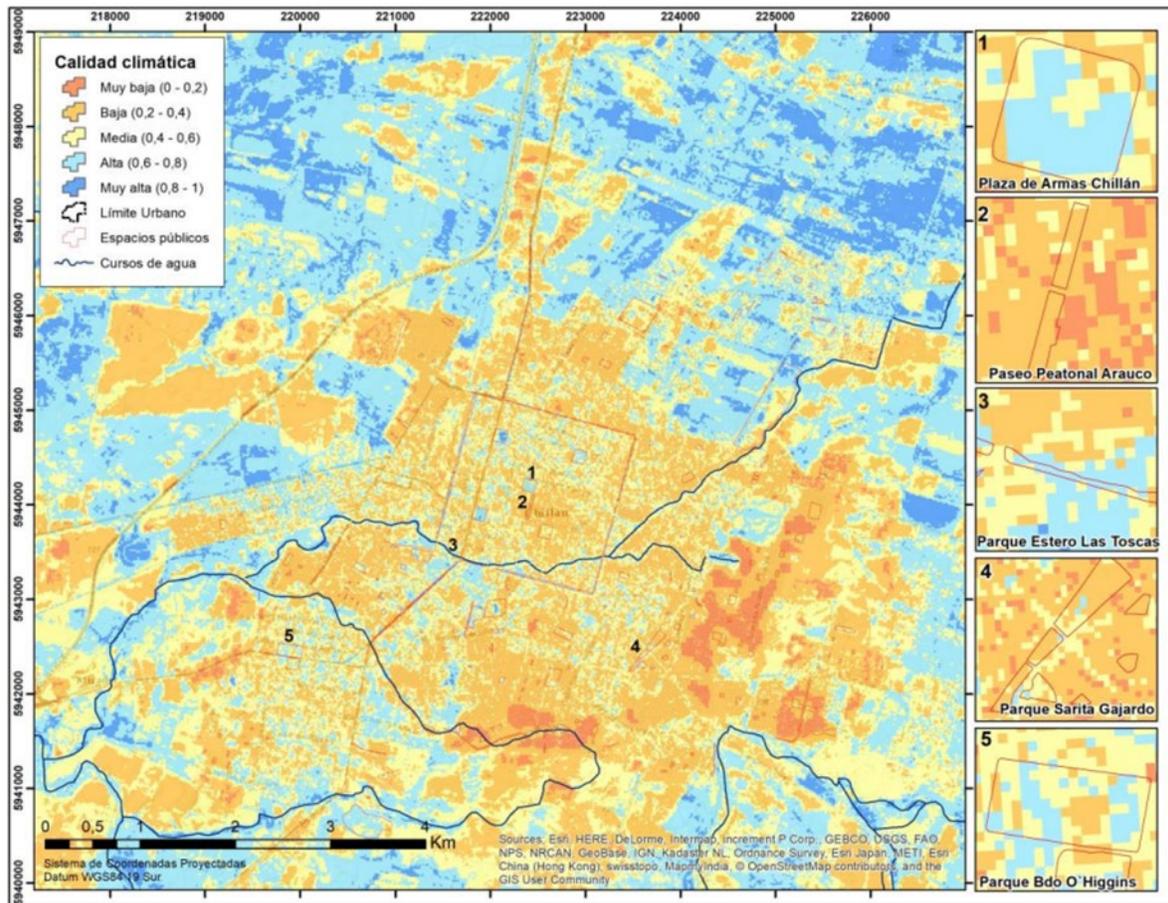


Figura 29: Espacialización de la calidad climática a escala local calculada a las 16 horas promedio de verano 2015-2016 en Chillán.

Fuente: Smith, 2018.

Métodos para aumentar el nivel de detalle pueden ser:

1. Realizar una encuesta in situ sobre la percepción de las variables climáticas Temperatura, Velocidad de Viento y Porcentaje de Humedad. Para así clasificar las variables en el contexto de la ciudad de Arica.
2. Aumentar el número de expertos encuestados. Esto puede nivelar los porcentajes en valores menos exagerados.
3. Tener un amplio número de sensores en la ciudad para medir variables que no tienen variabilidad espacial en esta investigación, como la velocidad del viento y la calidad del aire

4.1.3 Cambio climático e instrumentos de planificación territorial

La entrada en vigor de la Ley N°21.455 Marco de Cambio Climático es un gran paso para considerar los impactos generados por el cambio climático en los diversos ámbitos y tomar

medidas al respecto. En este sentido, la obligatoriedad que determina esta ley puede considerarse positiva, pues cada sector institucional tiene que hacerse cargo y avanzar en los lineamientos respectivos. Además, considera los diferentes niveles de acción: nacional, regional y local, lo que deja en evidencia el carácter territorial-geográfico de la ley, pues permite diseñar instrumentos que contengan las características particulares de cada espacio geográfico y, tomar medidas específicas de acuerdo a su contexto.

No obstante, este instrumento legislativo tiene un funcionamiento sectorial tanto en ámbitos de diseño, aplicación y financiamiento, esto en la práctica genera una dependencia de las regiones y comunas hacia los Ministerios para recibir financiamiento, proyectos o programas para aplicar medidas para enfrentar los efectos del cambio climático. En este sentido, se genera una contradicción a la hora de lo presentado en la Ley y lo que en la práctica sucede, por ello se presenta como un desafío a subsanar para aplicar esta legislación.

Un ejemplo claro, de lo mencionado anteriormente, se puede evidenciar en la aplicación de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático en los instrumentos de ordenamiento y planificación territorial, pues estos instrumentos se trabajan de manera sectorial y no territorial (Márquez & Veloso, 2020), el financiamiento para realizarlos debe ser a través de la autogestión de la misma Municipalidad o del Gobierno Regional, lo que genera una problemática puesto que en sectores aislados se priorizan otras necesidades (Morales, 2015), lo cual genera una tardanza en el diseño y aplicación de estos. Es por ello por lo que se hace necesario trabajar de manera interdisciplinaria e intersectorial al momento de aplicar normativas, estrategias o medidas en los instrumentos que ordenan y planifican el territorio (Márquez & Veloso, 2020), sobre todo en el contexto de esta Ley y su financiamiento.

Por tanto, es importante que exista una coordinación entre los diferentes niveles de acción y actores institucionales que involucra esta ley, para que la aplicación de medidas de mitigación y adaptación a los diversos instrumentos, en este caso, los relacionados a la planificación del territorio, sean aplicables y no queden solo en el papel.

En el contexto territorial del sector urbano de Arica, los instrumentos de planificación territorial presentados en el apartado “Área de estudio” en la Tabla N°6, se puede evidenciar que el PRC vigente es del año 2014, siendo que en el año 2021 se aplicaron modificaciones para ampliar el área urbana de la comuna. En relación con el PROT se encuentra en abandono, lo que implica que todos los instrumentos comunales no puedan guiarse de los lineamientos propuestos para la región. En cuanto al PRI, este instrumento empezó a gestionarse en 2018, y aún no se encuentra vigente. Todo lo anterior, demuestra la tardanza en la actualización de los instrumentos, por lo que la aplicación de medidas de adaptación al cambio climático también tarde, generando que los escenarios futuros de la calidad climática puedan generar que se prevén puedan generar problemas en la población.

Todo lo anterior demuestra la tardanza en la actualización de los instrumentos, lo que implica que la aplicación de medidas de adaptación al cambio climático también tarde, por lo que los cambios que se prevén a futuro logren aumentar la exposición a peores climas de peor calidad climática, lo que puede generar efectos adversos en la calidad de vida en la población, repercutiendo en problemas económicos o de salud.

A pesar de ello, esta tardanza puede verse como una oportunidad para avanzar en los lineamientos a nivel regional, de modo tal que los instrumentos a nivel comunal puedan tener una base de la cual guiarse, ya que como se mencionaba en el PLADECO 2021-2030 no tenían conocimiento de los efectos directos del cambio climático en la región. Asimismo, según las iniciativas presentadas en la Tabla N°24, la comuna desea incorporar un sistema de monitoreo de calidad climática (aire), lo cual demuestra la preocupación de la Municipalidad en tomar medidas en cuanto al cambio climático, y en caso de que se concrete esta iniciativa, sería un insumo de información tanto a nivel comunal, como regional para poder determinar los impactos y así generar medidas adecuadas para generar territorios más resilientes y menos vulnerables, sobre todo en zonas áridas y costeras, como la ciudad de Arica.

Las limitantes del nivel de detalle de los mapas se pueden sortear con distintas herramientas.

4.2 Conclusiones

En primer lugar, cabe señalar que según los resultados de la encuesta que se realizó, las variables más importantes en el estudio del clima urbano son, temperatura atmosférica, temperatura superficial y cobertura vegetal. En los contextos de una ciudad mediana y de ciudad costera fueron en el orden de más a menos importante, temperatura atmosférica, cobertura vegetal y temperatura atmosférica, mientras que en el de ciudad árida la cobertura vegetal es la más importante, mientras que la temperatura atmosférica es la segunda más importante y luego viene la temperatura superficial.

En segundo lugar, acerca de la calidad climática, se puede destacar que, en la situación actual, la calidad regular es el nivel de calidad que más se presenta en Arica para la temporada de verano 2020-2021. Aunque, cuando se evalúan los escenarios de cambio de temperatura, se notan grandes cambios de calidad y, a excepción del escenario de temperatura diurna promedio, la calidad climática baja notablemente, sobre todo disminuyendo las áreas de alta calidad. Los sectores que se mantuvieron con la menor cantidad de cambios fueron los distritos apegados a la costa, el distrito Regimiento y Puerto. Mientras que los que cambian a peores niveles de calidad en escenarios subóptimos, son aquellos que se encuentran en las periferias no costeras de la ciudad, entre estos podemos encontrar, Fuerte Ciudadela, Cancha rayda, Las torres, Azapa y Pedro Blanquier; y aquellos que se encuentran en las zonas más céntricas: José Miguel Carrera, Parque Lauca y San José.

De los escenarios evaluados, respecto al viento se observó que, como tiene un bajo peso, el patrón y áreas de calidad climática, no cambian drásticamente cuando varía de un escenario optimo a uno subóptimo. Caso similar ocurre con la calidad del aire, pues tiene un peso de la misma magnitud.

En tercer lugar, en relación a la planificación sensible al clima, según lo planteado por la Ley N°21.455 es imperativo incluir en el ordenamiento y planificación territorial aspectos climáticos, debido a la importancia de reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia de los efectos que ha causado en nuestro país el cambio climático. En este sentido, el indicador de calidad climática y las medidas de adaptación propuestas (utilización de material poroso o pavimento permeable para estacionamientos, crear parches de árboles con baja exigencia hídrica y utilizar colores blancos en las coberturas o fachadas de casas) se presentan como un insumo para la Municipalidad de Arica, puesto que presenta lo diversos panoramas de manera sintética sobre los efectos del cambio climático, y sobre ello, se plantean medidas para el contexto comunal, en relación a lo indicado por las guías elaboradas desde los Ministerios, así como también de otras experiencias internacionales que han incluido en sus instrumentos de planificación medidas similares. Además, estas medidas pueden también ser un insumo para todas las comunas de la zona norte del país.

Para finalizar, a modo de reflexión, los resultados obtenidos en esta investigación dejan en evidencia la importancia y el deber de la disciplina geográfica en el contexto de cambio climático, puesto que debido a las herramientas que entrega el conocimiento de la geografía permite espacializar fenómenos, en este caso variables climáticas-ambientales para no tan sólo describirlas sino también para proponer lineamientos de planificación que contribuyan a reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia en los contextos urbanos.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Alcoforado, M. (2006). Planning procedures towards high climatic quality cities. Example referring to Lisbon. *Finisterra Revista Portuguesa de Geografía*, 41. [En línea] [Consultado: 17 de Marzo 2023] <http://dx.doi.org/10.18055/Finis1449>

Alchapar, N. & Correa, E. (2011). Comportamiento térmico de revestimientos verticales en mitigación de la isla de calor urbana, reflectancia solar. *Avances en energías renovables y medioambiente*, 15, 55-64. (2012). Estrategias de enfriamiento pasivo urbano. Índice de reflectancia solar y relación costo – beneficio en pintura para fachadas. *Avances en energías renovables y medioambiente*, 16, 67 – 76. Reflectancia solar de las envolventes opacas de la ciudad y su efecto sobre las temperaturas urbanas. *Informe de la construcción*, 67(540): e112.

Andrade, H., Alcoforado, M. & Oliveira, S. (2011). Perception of temperature and wind by users of public outdoor spaces: relationships with weather parameters and personal characteristics. *Int J Biometeorol* 55, 665–680. <https://doi.org/10.1007/s00484-010-0379-0>

Arenas, F. (2000). El ordenamiento territorial: un nuevo tema para la planificación. En F. Arenas y G. Cáceres (Eds.). *Ordenamiento territorial en Chile*. Santiago: Universidad Católica.

Bellet, C. & Llop, J. (2004): Miradas a otros espacios urbanos: las ciudades intermedias. *Scripta Nova*, VIII(165), 1-28.

Bitan, A. (1992). The high climatic quality city of the future. *Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere*, Volume 26, Issue 3, Páginas 313-329. [En línea] [Consultado: 02 de Julio 2023] [https://doi.org/10.1016/0957-1272\(92\)90007-F](https://doi.org/10.1016/0957-1272(92)90007-F).

Bustamante, W. (2009). *Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social*, Colección Monografías y Ensayos, Pontificia Universidad Católica de Chile, editores: CEDEUS. (2014). *Adaptación Urbana al Cambio Climático Propuesta para la Adaptación Urbana al Cambio Climático en Capitales Regionales de Chile*. [En línea] [Consultado: 17 de Julio 2023] https://cambioglobal.uc.cl/images/proyectos/Documento_041_Proyecto-Adaptacin-Ciudades-Final-MMA_CCG-CEDEUS-ADAPTChile.pdf

Castro-Fresno D., Andrés-Valeri C., Sañudo-Fontaneda L., & Rodríguez-Hernández J. (2013). “Sustainable Drainage Practices in Spain, Specially Focused on Pervious Pavements”. *Water*, 5, 67-93.

Chuvieco, E. (1992). Teledetección, SIG y Cambio Global. V Coloquio de Geografía. *Geographicalia*, (29), 33-56.

Comisión Interministerial de Ciudad, Vivienda y Territorio. (2017). *Propuesta Nacional de Ordenamiento Territorial (PNOT)*. [En línea] [Consultado: 13 de Julio 2023] https://eae.mma.gob.cl/storage/documents/04_Anteproyecto_Politica_Nacional_Ordenamiento_Territorial_3.pdf.pdf

Danni-Oliveira, I. (2000). A cidade de Curitiba e a poluição do ar: implicações de seus atributos urbanos e geocológicos na dispersão de poluentes em período de inverno. (Tesis de doctorado en Geografía, Universidade de São Paulo. São Paulo).

De Castro, M., Aljawabra, F. & Nikolopoulou, M. (2008). Open urban space quality: a study in a historical square in Bath – UK. PLEA 2008 – 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin, 22 – 24 de Octubre.

Dirección Meteorológica de Chile. (2023). Servicios Climáticos, Viento predominante. Viento predominante y tabla de frecuencia para 8 direcciones. Consultado por última vez. [En línea] [Consultado: 04 de Julio 2023] <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/requerimiento/producto/RE1008>

Fuentes, A. (2015). Sistemas urbanos de drenaje Sostenibles: Una alternativa de futuro. [Tesis de Grado, Escuela Técnica Superior de Arquitectura Sevilla].

García, M. (2019). Thermal Differences, Comfort/Discomfort and Humidex Summer Climate in Mar del Plata, Argentina. Urban Climates in Latin America en Capitulo 5, paginas 83-110.

González, P. (2013). De los Instrumentos de Planificación Territorial como Actos Administrativos de Potestad de carácter Discrecional. [Tesis de Grado]. Repositorio Universidad de Chile.

Henríquez, C. (2014). El problema ambiental de la urbanización. Modelando el Crecimiento de Ciudades Medias, Hacia un desarrollo urbano sustentable. Ediciones UC. Páginas 29-84.

Henríquez, C., Treimun, J., & Qüense, J. (2019). Zonificación climático-ambiental urbana mediante la integración de técnicas geomáticas y métodos geoestadísticos. Análisis Geoespacial En Los Estudios Urbanos, Paginas171–200. [En línea] [Consultado: 09 de Julio 2023] https://www.ciga.unam.mx/publicaciones/images/abook_file/LB2016001.pdf

Ilustre Municipalidad de Arica. (2023). Memoria Explicativa de Modificación Plan Regulador de Arica. [En línea] [Consultado: 17 de Julio 2023] https://imaarica.cl/PlanoRegulador/archivos/propuesta-prc/01_memoria%20Explicativa_PRC_2017.pdf

INE. (2017) Síntesis de resultados Censo 2017 Región de Arica y Parinacota. [En línea] [Consultado: 17 de Julio 2023] https://regiones.ine.cl/documentos/default-source/region-xv/banco-de-datos-r15/enfoques/sintesis-censo-2017/sintesis-resultados-censo2017_aricayparinacota.pdf?sfvrsn=7571ad12_6

Letelier, A. (2020). Estudio de la isla de calor urbana en Santiago Centro entre 2016-2017, bajo la mirada de la planificación sensible al clima. Repositorio Académico Universidad de Chile. [Memoria de Título, Universidad de Chile]. [En línea] [Consultado: 17 de Mayo 2023] <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/178096>

Ley 19.300 decreto N°12 Establece norma primaria de calidad ambiental para material particulado respirable MP10. Diario oficial Chile, Santiago, 17 de mayo 2022.

Ley 21.455 de 2022. Marco de Cambio Climático. 30 de Mayo 2022.

López, G. (2008). Geografía y ciudades medias en España: ¿a la búsqueda de una definición innecesaria?, Scripta Nova 12, 45.

Márquez, M. & Veloso, E. (2020). El ordenamiento territorial en Chile: Estado del Arte. Revista Estado, Gobierno y Gestión Pública, (35), 139 - 179.

Massiris, A. (2013). “Políticas de ordenamiento territorial en América Latina: Examen comparado”. Comunidad Andina, Programa BioCAN, Lima.

Maturana, F. (2015). ¿Ciudad media o ciudad intermedia? Evolución conceptual y estudio en Chile. En: Maturana, F. y Rojas, A. (eds.), Ciudades intermedias en Chile: Territorios olvidados. Santiago: RIL Editores, 21-42.

Mercado, L. (2021). Mitigación y adaptación al efecto de isla de calor urbana de clima cálido seco. El caso Hermosillo, Sonora. Viviendas y Comunidades Sustentables N°11. Página 85-110. Universidad de Guadalajara. <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i11.187>

Ministerio de Medio Ambiente. (2020a). Minuta: Avances para la definición Indicadores de vulnerabilidad y adaptación para Chile en la ECLP. [En línea] [Consultado: 01 de Julio 2023] <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/07/Minuta-Avances-en-Indicadores-adaptacion.pdf>

Ministerio de Medio Ambiente. (2020b). Atlas Riesgo Climático: Discomfort Térmico Ambiental. [En línea] [Consultado: 13 de Julio 2023] https://arclim.mma.gob.cl/atlas/view/ciudades_confort_termico_cbit/

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. División Técnica de Estudio y Fomento habitacional (MINVU) y Programa País de Eficiencia Energética (CNE). Páginas 203.

Ministerio de Medio Ambiente. (2022). Ley Marco de Cambio Climático. [En línea] [Consultado: 13 de Julio 2023] <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2022/08/ETICC-08042022-Ley-Cambio-Clima%CC%81tico-Ministra-Rojas.pdf>

Ministerio de Medio Ambiente. (2023a). Guía de Evaluación Ambiental Estratégica para incorporar el Cambio Climático en los Instrumentos de Ordenamiento y Planificación Territorial.

Ministerio de Medio Ambiente. (2023b). Sistema Evaluación Estratégica de Instrumentos de Planificación Territorial. [En línea] [Consultado: 13 de Julio 2023] <https://eae.mma.gob.cl/>

Ministerio de Vivienda y Urbanismo [MINVU]. (2007). Encuesta Nacional de Percepción de Calidad de Vida Urbana 2007 Aspectos Metodológicos y Recomendaciones para el Uso de

la Base de Datos. Observatorio Urbano. Comisión de Estudios Habitacionales y Urbanos. MINVU.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo [MINVU]. (2018). Plan de Adaptación al Cambio Climático para Ciudades. https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/06/Plan-CC-para-Ciudades_aprobado-CMS-ene2018-1.pdf

Ministerio de Vivienda y Urbanismo [MINVU]. (2020). Plan Regulador Intercomunal Arica - Putre. [En línea] [Consultado: 15 de Julio 2023] <https://priaricaputre.wordpress.com/>

Ministerio de Vivienda y Urbanismo [MINVU]. (2021). Plan de Adaptación al Cambio Climático para Ciudades. [En línea] [Consultado: 15 de Julio 2023] <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/08/ETICC-240920-Plan-Ciudades-MINVU.pdf>

Morales, M. (2015). Instrumentos y procesos para el desarrollo del ordenamiento territorial en Chile. *Revista Politeia*, 38(55), 55-76.

Muñoz, C., Dziekoski, M., Soto, G. & Lamilla, N. (2010). Hábitat y territorio: coherencia para el ordenamiento territorial. El caso de la provincia de Colchagua, Chile. *Revista INVI*, 25, 119-149.

Nikopoulou, M. & Lykoudis, S. (2006). Thermal comfort in outdoor urban spaces: Analysis across different European countries. *Building and Environment* 41, 1455-1470. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.05.031>

Palme, M., Inostroza, L., Villacreses, G., Carrasco, C., & Lobato, A. (2019). Urban Climate in South American Coastal Cities of Guayaquil, Lima, Antofagasta and Valparaíso, and Its Impactas on the Energy Efficiency Buildings. *Urban Climates in Latin America*. Springer. Página 33-62

Perales S. & Domenech A. (2008). “Los sistemas Urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia”. *Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente*. Universidad politécnica de Valencia.

Potchter, O., Cohen, P., Lin, T. & Matzarakis, A. (2018). Outdoor human thermal perception in various climates: A comprehensive review of approaches, methods and quantification, *Science of The Total Environment*, Volumen 631–632, 290-460 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.276>.

Oke, T. (1987). *Boundary Layer Climates*. Routledge. Second edition.

Ramos H., Teyssier C., Samora I. & Schleiss A. (2013). “Energy Recovery in SUDS towards Smart wáter grids: A case study”. *Energy Policy* 62, 463-472.

Romero, H., Irrarázaval, F., Smith, P., Opazo, D. & Salgado, M. (2010). Climas urbanos y contaminación atmosférica en Santiago de Chile. *EURE (Santiago)*, 36, 35–62. <http://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612010000300002%0A>

Sarricolea, P., Herrera-Ossandon, M. & Meseguer-Ruiz, Ó. (2016). Climatic regionalization of continental Chile. *Journal of Maps* 13(2):66–73, 2017. [En línea] [Consultado: 11 de Marzo 2023] <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/29204>

Saaty, T. (1987). The analytic hierarchy process—what it is and how it is used, *Mathematical Modelling*, Volumen 9, Páginas 161-176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)

Scudo, G. & Dessi, V. (2006). Thermal comfort in urban space renewal. PLEA 2006, the 23rd. Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6 – 8 September.

Secretaría Comunal de Planificación. (2021). Plan de Desarrollo Comunal 2020–2030. Ilustre Municipalidad de Arica. Arica. Chile.

Smith, P. (2018). Estudio del confort térmico y la calidad climática en el espacio público. Estudio de caso en la ciudad de Chillán, Chile [Tesis Doctoral, Pontificia Universidad Católica de Chile].

Smith, P. & Henríquez, C. (2019). Propuesta de un indicador para evaluar la calidad climática urbana: estudio de caso en una ciudad media mediterránea chilena. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*. Páginas 144-157.

Stewart, I. & Oke, T. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), 1879–1900. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>

Taha, Hamdy (2012) *Investigación de operaciones*. Edición 9. Pearson Educación, México. 513-523.

Thomas, F. (2022). Análisis del comportamiento de la temperatura superficial y su relación con las características del diseño urbano como base para proponer lineamientos de planificación sensible al clima: El caso de la ciudad de Arica, Chile. [Tesis de Magíster]. Repositorio Universidad de Chile.

Van Heck, G. (2020). Informe de experto PVW4A19069, Chile. [En línea] [Consultado: 13 de Junio 2023] <https://www.uta.cl/wp-content/uploads/2020/06/Reportaje-Expert-Input-Chile-ES.pdf>

Vásquez, A. (2016). Infraestructura verde, servicios ecosistémicos y sus aportes para enfrentar el cambio climático en ciudades: el caso del corredor ribereño del río Mapocho en Santiago de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 63, 63-86.

Werner, G. & Zúñiga, M. (1995). Ordenamiento territorial y planificación ambiental en Chile. Santiago de Chile.

6 ANEXOS

	Total
Temperatura superficial	17
Vegetación	9
Factor de visibilidad de cielo	7
Superficie impermeable	7
Temperatura atmosférica	7
Humedad relativa del aire	6
Dirección y velocidad del viento	6
Distancia a cuerpos de agua	6
Cobertura de suelo	5
Calidad del aire	4
Zona climática local	3
Relación Altura Ancho	3
Densidad de construcción	2
Floor area ratio	2
Rugosidad	2
Altura de edificios	2
Emisión de CO2	2
Acceso solar	2
Elevación	2
Distancia a centros de aglomeración	1
Región climática	1
Nivel Socioeconómico por hogar	1
Orientación de ladera	1
Precipitaciones	1
Material del suelo	1
Densidad poblacional	1
Albedo	1
Fracción iluminada por el sol	1
Radiación solar	1
Humedad específica	1
Vestimenta	1
Equipamiento urbano	1
Orientación calles	1
Superficie con edificios	1
Calor antropogénico	1
Relación altura entre edificio y arbol	1

Anexo N°1: Tabla de Frecuencia de aparición de variables climático-ambientales. Fuente:
Elaboración propia 2021.

CONSTRUCCIÓN DE INDICADOR DE CALIDAD CLIMÁTICA. Definición de variables

Estimados contribuyentes.

El formulario se encuentra en el marco de investigación de mi Memoria de Título que se titula "Propuesta de indicador de calidad climática para la ciudad de Arica.". La calidad climática es un concepto que se ha desarrollado en función de mejorar la visión que se tiene del clima y de los indicadores que se usan en las normativas que comprenden el clima (de exterior) en la ciudad. Es por eso que varios autores, desde Bitan (1982); Alcoforado (2006); Henríquez, Treimun y Qüense (2018); Henríquez y Smith (2021) han trabajado en la construcción de un indicador más completo que represente la complejidad de eventos que ocurren en las ciudades, contribuyendo con información para la planificación y diseño urbano.

En este contexto, usted ha sido invitado(a) en calidad de experto para identificar aquellas variables que debieran ser incluidas para construir un indicador considerando distintos escenarios urbanos y climáticos.

La información recopilada en este formulario será de uso confidencial, el tratamiento de los datos será de forma agregada y bajo el tratamiento de un pseudónimo cuando corresponda. Al seleccionar la opción "Iniciar encuesta ahora", ud. está aceptando participar y puede abandonar la encuesta si lo desea. Puede acceder a más información contactando al autor de este estudio, Jorge Soto, a través del correo jrg.stw@gmail.com.

INICIAR ENCUESTA AHORA

Anexo N°2: Portada de encuesta. Fuente: Elaboración propia, 2023.

Construcción indicador calidad climatica

1. Nombre*

Su nombre solo es consultado en el formulario para llevar un registro de las respuestas.

Escribe una o varias palabras...

500

Powered by  **survio**



Anexo N°3: Página pregunta N°1, nombre. Fuente: Elaboración propia, 2023.

PRIMERA SECCIÓN

En esta sección se espera que usted ordene las variables de acuerdo a su importancia para integrar un indicador de calidad climática.

El siguiente listado de variables son una selección realizada de una revisión bibliográfica de textos relacionados a estudios de calidad climática. Se seleccionaron en total 10 variables las cuales fueron elegidas por relevancia y frecuencia de aparición.

2. ¿Cuáles son las variables climático-ambientales más importantes para su criterio?

Desplace las siguientes variables en orden decreciente. En la parte superior aquella con mayor importancia y hacia abajo las que tienen menos importancia.

- ◇ 1. Temperatura Superficial
- ◇ 2. Temperatura Atmosférica
- ◇ 3. Cobertura Vegetacional
- ◇ 4. Porcentaje de Superficie Impermeable
- ◇ 5. Humedad Relativa del Aire
- ◇ 6. Calidad del Aire
- ◇ 7. Distancia a Cuerpos de Agua
- ◇ 8. Relación Ancho de Calle - Altura de Edificación
- ◇ 9. Dirección y Velocidad del Viento
- ◇ 10. Factor de Visibilidad del Cielo o Sky View Factor

Anexo N°4: Primera sección, pregunta N°2. Fuente: Elaboración propia, 2023.

SEGUNDA SECCIÓN

En esta sección deberá nuevamente ordenar las variables de acuerdo a su importancia, esta vez, en los escenarios indicados.

3. Para comenzar considere a una ciudad de clima árido y ordene las siguientes variables, desde la de mayor importancia a menor importancia para integrarse al indicador.

Desplace las siguientes variables en orden decreciente. En la parte superior aquella con mayor importancia y hacia abajo las que tienen menos importancia. Clima árido será considerado equivalente a la BWh de la clasificación climática de Köppen Geiger, se pueden encontrar ciudades con este clima en: Lima Perú, Mexicali México, El Cairo Egipto, Iquique Chile, Las Vegas Estados Unidos y Bagdad Irac.

◇ 1. Temperatura Superficial

◇ 2. Temperatura Atmosférica

◇ 3. Cobertura Vegetacional

◇ 4. Porcentaje de Superficie Impermeable

◇ 5. Humedad Relativa del Aire

◇ 6. Calidad del Aire

◇ 7. Distancia a Cuerpos de Agua

◇ 8. Relación Ancho de Calle - Altura de Edificación

◇ 9. Dirección y Velocidad del Viento

◇ 10. Factor de Visibilidad del Cielo o Sky View Factor

Anexo N°5: Sección 2, pregunta N°3. Fuente: Elaboración propia, 2023.

4. Para una ciudad costera. Ordene las siguientes variables desde la más importante a la menor.

Desplace las siguientes variables en orden decreciente. En la parte superior aquella con mayor importancia y hacia abajo las que tienen menos importancia.

- ◇ 1. Temperatura Superficial
- ◇ 2. Temperatura Atmosférica
- ◇ 3. Cobertura Vegetacional
- ◇ 4. Porcentaje de Superficie Impermeable
- ◇ 5. Humedad Relativa del Aire
- ◇ 6. Calidad del Aire
- ◇ 7. Distancia a Cuerpos de Agua
- ◇ 8. Relación Ancho de Calle - Altura de Edificación
- ◇ 9. Dirección y Velocidad del Viento
- ◇ 10. Factor de Visibilidad del Cielo o Sky View Factor

Anexo N°6: Sección 2, pregunta N°4. Fuente: Elaboración propia, 2023.

5. Para una ciudad mediana. Ordene las siguientes variables desde la más importante a la menor.

Desplace las siguientes variables en orden decreciente. En la parte superior aquella con mayor importancia y hacia abajo las que tienen menos importancia. El término "Ciudad mediana" también tiene semejantes, como ciudad de tamaño medio o intermedia, y la literatura ofrece varias definiciones y con distintos parámetros al respecto. Pero en este caso se entenderá con las siguientes características. Entre 50.000 y 500.000 habitantes Y una superficie entre los 40 km² y los 150 km² Ejemplos de Europa: Murcia, España; Bolonia, Italia; Bristol y Norwich en Reino Unido Ejemplos en América se encuentran: Pereira, Colombia; Rosario, Argentina; Chillán, Chile; Oaxaca de Juárez, México; Albuquerque, Estados Unidos.

- ◇ 1. Temperatura Superficial
- ◇ 2. Temperatura Atmosférica
- ◇ 3. Cobertura Vegetacional
- ◇ 4. Porcentaje de Superficie Impermeable
- ◇ 5. Humedad Relativa del Aire
- ◇ 6. Calidad del Aire
- ◇ 7. Distancia a Cuerpos de Agua
- ◇ 8. Relación Ancho de Calle - Altura de Edificación
- ◇ 9. Dirección y Velocidad del Viento
- ◇ 10. Factor de Visibilidad del Cielo o Sky View Factor

Anexo N°7: Sección 2, pregunta N°5. Fuente: Elaboración propia, 2023.

TERCERA SECCIÓN

En esta sección se espera que usted relacione las variables, las mismas seleccionadas de las preguntas anteriores, para evaluar si presentan relación o no entre ellas, y si es que la hay de qué tipo.

Se cruzarán las 10 variables en ambos ejes, pero se separarán en dos preguntas, agrupando en dos grupos de 10 y 5 para mejorar la visualización.

Las variables están presentes en los dos ejes, y la relación entre una variable X con una Y será la misma que la variable Y con la X. Entonces los valores de la columna de la variable X serán los mismos valores que los de la fila de X, es por esto que se repetirán, se le pide que llenen aun así todos los campos, para poder completar la pregunta. Además, cuando cualquier variable se encuentre consigo misma, rellene el campo con 0.

Anexo N°8: Instrucciones sección 3. Fuente: Elaboración propia, 2023.

6. Complete señalando la relación entre las variables. (Parte 1)*

Complete todos los siguientes campos con uno de los siguientes valores [-1] si la relación entre las variables es negativa [0], si no hay relación aparente y [1] si la relación entre las variables es positiva.

	Temperatura superficial	Temperatura Atmosférica	% de Superficie Impermeable	% de Cobertura Vegetacional	Humedad Relativa del Aire
Temperatura Superficial
Temperatura Atmosférica
Cobertura Vegetacional
Porcentaje de Superficie Impermeable
Humedad Relativa del Aire
Calidad del Aire
Distancia a Cuerpos de Agua
Relación Ancho de Calle - Altura Edificación
Dirección y Velocidad del Viento
Factor de Visibilidad de Cielo o Sky View Factor

Anexo N°9: Sección 3, pregunta N°6. Fuente: Elaboración propia, 2023.

7. Complete señalando la relación entre las variables. (Parte 2)*

Complete todos los siguientes campos con uno de los siguientes valores [-1] si la relación entre las variables es negativa [0], si no hay relación aparente y [1] si la relación entre las variables es positiva.

	Calidad del Aire	Distancia a Cuerpos de Agua	Relación Ancho de Calle - Altura de Edificación	Dirección y Velocidad del Viento	Factor de Visibilidad de Cielo o Sky View Factor
Temperatura Superficial
Temperatura Atmosférica
Porcentaje de Cobertura Vegetacional
Porcentaje de Superficie Impermeable
Humedad Relativa del Aire
Calidad del aire
Distancia a Cuerpos de Agua
Relación Ancho de Calles - Altura de Edificación
Dirección y Velocidad de Viento
Factor de Visibilidad de Cielo o Sky View Factor

Sección 3, pregunta N°7

Anexo N°10: Sección 3, pregunta N°7. Fuente: Elaboración propia, 2023.