



UNIVERSIDAD DE CHILE

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Escuela de pregrado

Carrera de Geografía

**Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort
térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-22, en las
ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso,
Chile.**

Memoria para optar al Título profesional de Geógrafo

MATÍAS EXEQUIEL JARA FLORES

Profesora guía: Dra. Pamela Smith Guerra

SANTIAGO, CHILE. 2022

AGRADECIMIENTOS

Quisiera rendirle mis profundos agradecimientos a mi novia Denisse, ya que fue mi principal red de apoyo, en especial durante los momentos de contratiempos emocionales. También quiero agradecer a mis padres, por sus valores entregados y por permitirme el acceso a una educación digna.

A mi profesora guía, la Dra. Pamela Smith, por su paciencia y dedicación en sus observaciones, correcciones y recomendaciones. Gracias también por tus palabras de apoyo y ánimo durante la transición de la elaboración de mi Memoria de título.

Quiero agradecer al Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2 (ANID/FONDAP 1511009, CR2) de la Universidad de Chile y al equipo ANID ANID/Fondecyt Iniciación 11180990, por la oportunidad de poder trabajar e integrar mi proyecto de investigación bajo sus aleros.

Agradecer a las ayudas de Erika, Mandy, Ramiro, Gustavo, Benjamín, Nicolás y Evelyn, todas/os vecinas/os de San Felipe y Los Andes, por permitir poder instalar los instrumentos de medición en sus hogares. Como también a Natalia Quero, jefa de gabinete de la Ilustre Municipalidad de Los Andes, a la directiva del Colegio José de San Martín de San Felipe, y al capitán del ejército Mauricio Contreras, del Destacamento de Montaña n°3 de Yungay por facultar la posibilidad de poder instalar los dispositivos en dichas dependencias.

Agradezco a mis tíos Pablo Jara y Kareem Silva por ayudarme en la gestión de contacto con los vecinos de ambas ciudades, y por brindarme los medios de hospedaje y traslado durante los periodos de salidas de terreno. También quiero reconocer a mis compañeros de carrera y profesión Allan Puebla y Camila Ríos por los contactos entregados.

RESUMEN

A partir de la segunda mitad del siglo XX, el 60% de los habitantes chilenos residían en ciudades. Dicha proporción aumentó al 88% en el año 2017 (Instituto Nacional de Estadísticas, 2017). Este acelerado crecimiento demográfico en ciudades vino acompañado de un apresurado proceso de expansión urbana, que en su mayoría, estuvieron carentes de planificación y control (Ciccolella, 1999). Actualmente las ciudades concentran los polos comerciales y de servicios, al punto que se estima que más de 2/3 del producto interno bruto mundial se generan en las mismas (Gifreu-Font, 2018).

El clima urbano corresponde a las alteraciones inadvertidas e intencionales del clima regional y local previo. Las ciudades modifican los parámetros meteorológicos tales como la temperatura, la humedad, el viento y las precipitaciones (Picone, 2014; Williams, 2019). En sus inicios esta área comenzó a ser tratada por las ciencias naturales como la meteorología y la climatología. No obstante, debido a que los cambios de las variables meteorológicas se relacionan con las composiciones demográficas y económicas de la población, comenzó a ser considerado como un problema de la geografía ambiental (Romero *et al.*, 2010).

La Isla de Calor urbana es el fenómeno de la climatología urbana más estudiado (Landsberg, 1981). Está definido como las diferencias de temperaturas de las capas del aire entre las áreas urbanas con respecto a sus entornos rurales circundantes (Sarricolea & Romero, 2010). En relación con esto, se afirma que debido a la sustitución de coberturas de suelos naturales y de uso agrícolas por áreas urbanas, las temperaturas en el interior de las ciudades tienden a ser mayores. Esto es debido ya que los materiales de construcción urbanos tienen una mayor inercia térmica y generan una mayor absorción de la radiación de onda corta y una menor emisión de onda larga (Smith & Andrade, 2013).

Las ciudades de San Felipe y Los Andes se encuentran ubicadas en la región de Valparaíso, situada en la zona centro-norte de Chile. Ambas urbes están emplazadas en la sección alta de la cuenca del río Aconcagua. Cuentan con un clima de tipo semiárido, con veranos cálidos y secos e inviernos frescos y húmedos, lo que constituye en una clasificación climática de tipo BSk(s) (Sarricolea *et al.*, 2016). Las dos ciudades de estudios están catalogadas de tipo intermedia, cada una posee una población de 76.844 y 66.708 habitantes, respectivamente, formando entre ambas la red intercomunal San Felipe-Los Andes (Catán, 2013).

Hasta el momento no se han desarrollado estudios integrados del clima urbano en San Felipe y Los Andes. Por lo tanto, el objetivo del trabajo es estudiar la distribución y el comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental de ambas ciudades durante el verano 2021-2022, con el propósito construir una línea de base climática que permita poder ser aplicado a mejorar las políticas de planificación urbana.

Previo al cálculo de las temperaturas intraurbanas se establecieron cuatro criterios de elección de las zonas potenciales de medición. Posterior a la selección de las mismas se

requirió de la instalación de los iButton, pertenecientes al modelo Hygrochron DS1923. Este instrumento corresponde a un termohigrómetro digital que permite poder medir las temperaturas atmosféricas y humedad relativa del aire de un sector determinado. Se lograron instalar diez instrumentos en diferentes puntos preseleccionados, siendo cinco para cada ciudad. La obtención de estos dispositivos fue otorgada por el equipo ANID, a través del proyecto ANID/Fondecyt Iniciación 11180990. Además, se consideraron como puntos de medición dos estaciones meteorológicas preestablecidas, la primera es la estación Escuela Agrícola de San Felipe, perteneciente a la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), y la segunda es la estación Los Andes, pertenecientes al Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA), denominada en el trabajo como SINCA-Los Andes.

Los resultados obtenidos del trabajo comprueban la influencia de los materiales de construcción sobre los indicadores meteorológicos analizados, exhibiendo una notoria variabilidad climática en los diferentes sectores de la ciudad, que se relacionan directamente con la construcción social de los paisajes y lugares. Aquello se pudo vincular con la composición de las Zonas climáticas locales emplazados en cada punto de medición.

A raíz de lo anterior, surge la necesidad de crear y construir redes de estaciones meteorológicas intraurbanas, ya que de esta forma es posible poder elaborar líneas de bases climáticas permitan estimar la variabilidad de cambio a futuro.

Palabras claves: Clima urbano, Zonas climáticas locales, confort térmico

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. PRESENTACIÓN	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Planteamiento del problema	4
1.3. Estado del asunto	7
1.4. Caracterización del área de estudio	16
1.4.1. Características físicas y naturales	16
1.4.2. Características sociales	20
1.5. OBJETIVOS.....	23
1.5.1. Objetivo principal	23
1.5.2. Objetivos específicos	23
2. MARCO METODOLÓGICO	24
2.1. Eje físico y natural	25
2.1.1. Obtención de temperaturas de emisión superficial e índice normalizado de vegetación (NDVI) correspondientes a todos los cuatrimestres de verano (diciembre a marzo) pertenecientes al periodo 2001-2021, a través de las colecciones de imágenes satelitales procedentes del producto MODIS.....	25
2.1.2. Características técnicas y establecimiento de las estaciones o puntos fijos de medición de temperaturas y humedad relativa del aire	27
2.1.2.1. Descripción técnica del instrumento iButton	27
2.1.2.2. Criterios de elección de puntos de medición. Adquisición de instrumentos y toma de registros.....	28
2.1.3. Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental: Estimación de indicadores meteorológicos, biometeorológicos e interpolación de datos.	31
2.2. Eje mixto	32
2.2.1. Zonas climáticas locales.....	33
2.2.2. Establecimiento de áreas de influencia de los puntos de medición y estaciones meteorológicas	35
2.3. Eje social	36
2.3.1. Caracterización sociodemográfica y socioeconómica	36
2.3.1.1. Aspectos sociodemográficos	36
2.3.1.2. Aspectos socioeconómicos.....	37

2.3.2.	Características de la morfología urbana.....	37
2.3.2.1.	Catastro Parques Urbanos MINVU	37
2.3.2.2.	Estimación del crecimiento de las manchas urbanas	37
2.3.2.3.	Análisis de la densidad de las edificaciones mediante el índice estandarizado de diferencia construida (NDBI).....	38
3.	Resultados	39
3.1.	Comportamiento térmico urbano de las ciudades de San Felipe y Los Andes	39
3.1.1.	Análisis del estudio de la Isla de Calor Urbana superficial de los veranos correspondientes al periodo 2001-02 y 2021-22 de las ciudades de San Felipe y Los Andes	39
3.1.1.1.	ICUs de verano de la ciudad de San Felipe.....	39
3.1.1.2.	ICUs de verano de la ciudad de Los Andes	40
3.1.2.	Análisis de las temperaturas atmosféricas intraurbanas de las ciudades de San Felipe y Los Andes del verano 2021-22.....	41
3.1.2.1.	Resumen cuatrimestral del comportamiento térmico intraurbano de las ciudades de San Felipe y Los Andes	42
3.1.2.2.	Resúmenes mensuales del comportamiento térmico intraurbano de las ciudades de San Felipe y Los Andes	47
i.	Distribución termal intraurbana de diciembre 2021	47
ii.	Distribución termal intraurbana de enero 2022	50
iii.	Distribución termal intraurbana de febrero 2022	52
iv.	Distribución termal intraurbana de marzo 2022.....	54
3.1.3.	Análisis de los indicadores meteorológicos	57
3.1.3.1.	Frecuencia de días (%) con temperaturas máximas sobre umbrales ajustado en categorías inferior a 30°C “< 30”, entre 30 y 32,5°C “[30 – 32,5°C)”, entre 32,5 y 35°C “[32,5 – 35°C)” y mayores o iguales a 35°C “<= 35°C” en las ciudades de San Felipe y Los Andes	57
3.1.3.2.	Horas consecutivas superiores a los umbrales térmicos de 30, 32,5 y 35°C en las ciudades de San Felipe y Los Andes	59
3.1.3.3.	Olas de calor y periodos cálidos del cuatrimestre de verano 2021-22	61
3.1.3.4.	Observación y monitoreo de noches cálidas (tp90 - NC), noches frías (tp10 - NF) y noches tropicales (NT) de la temporada de verano 2021-22 en las ciudades de San Felipe y Los Andes	63
3.2.	Análisis de los valores de humedad relativa del aire durante el verano 2021-2022	66

3.3.	Análisis del confort térmico ambiental del verano 2021-22, a través del índice HUMIDEX.....	70
3.3.1.	Confort térmico ambiental de la ciudad de San Felipe.....	70
3.3.2.	Confort térmico ambiental de la ciudad de Los Andes.....	72
3.4.	Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) del verano 2021-22.	73
3.5.	Catastro de Parques Urbanos del MINVU, accesibilidad a áreas verdes urbanas y estimación de densidad de áreas verdes por ciudad y por zona.....	75
3.6.	Zonas climáticas locales (ZCL) de las ciudades de San Felipe y Los Andes ..	77
3.7.	Caracterización y análisis de las variables sociales de las ciudades de San Felipe y Los Andes	80
3.7.1.	Caracterización sociodemográfica.....	80
3.7.2.	Caracterización socioeconómica	84
3.7.3.	Vinculación entre zonas termales y las condiciones socioeconómicas de la población.....	88
3.7.4.	Caracterización de la morfología urbana de las ciudades de San Felipe y Los Andes.....	89
3.7.4.1.	Estimación del crecimiento de las manchas urbanas del área de estudio	89
3.7.4.2.	Estimación y análisis de la densidad de las edificaciones	90
3.8.	Propuestas.....	91
4.	Discusiones y conclusiones.....	94
4.1.	Discusiones.....	94
4.2.	Conclusiones.....	97
5.	REFERENCIAS	99
6.	ANEXOS.....	105

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Índice de tablas

Tabla 1: Extensión horizontal de los fenómenos meteorológicos en función de las unidades de escalas de análisis	7
Tabla 2 Unidades de análisis del clima.....	8
Tabla 3: Categorías del índice HUMIDEX y principales sintomatologías	12
Tabla 4: Conversión del índice HUMIDEX respecto a los valores de temperaturas atmosféricas (°C) y humedad relativa del aire (%)......	13
Tabla 5: Valores descriptivos medios de temperaturas mínimas, máximas y medias, y sus coeficientes de correlación respectivos de la estación Escuela Agrícola de San Felipe. 19	
Tabla 6: Tabla de distancias en kilómetros entre las áreas de estudios con las principales áreas metropolitanas de la macrozona centro.....	21
Tabla 7: Zonas potenciales de medición	29
Tabla 8: Resumen general de las fichas de instalación de los iButton	30
Tabla 9: Indicadores meteorológicos y biometeorológicos de estudio.....	32
Tabla 10: Descripciones generales de las Zonas climáticas locales	33
Tabla 11: Resumen estadístico general de las temperaturas de emisión superficial de verano en San Felipe.....	40
Tabla 12: Resumen estadístico general de las temperaturas de emisión superficial de verano en Los Andes.....	41
Tabla 13: Cobertura total de registros de medición de temperaturas atmosféricas	42
Tabla 14: Promedio de temperaturas de los puntos de medición de San Felipe, durante el periodo cuatrimestral de verano 2021-22.....	43
Tabla 15: Promedio de temperaturas de los puntos de medición de Los Andes, durante el periodo cuatrimestral de verano 2021-22.....	45
Tabla 16: Porcentaje de horas sobre umbrales de temperaturas superiores o iguales a los 30, 32,5 y 35°C, durante el verano 2021-2022 en los puntos de medición de San Felipe y Los Andes.....	60
Tabla 17: Número de días con temperaturas máximas sobre el UODC de cada punto de medición.....	62
Tabla 18: Cuadro resumen de las olas de calor y periodos cálidos producidos durante el verano 2021-22 en los puntos de medición de San Felipe	62
Tabla 19: Cuadro resumen de las olas de calor y periodos cálidos producidos durante el verano 2021-22 en los puntos de medición de Los Andes	63
Tabla 20: Umbrales de las temperaturas mínimas referidos a la información histórica de la estación meteorológica Escuela Agrícola de San Felipe.....	64
Tabla 21: Cuadro resumen de las noches cálidas (NC) y noches frías (NF) del verano 2021-22 en los puntos de medición de San Felipe y Los Andes	64
Tabla 22: Porcentaje de horas con temperaturas mayores o iguales a 20°C durante el verano 2021-22 en las ciudades de San Felipe y Los Andes.....	65
Tabla 23: Número de noches tropicales (NT), estimadas durante el verano 2021-22, en los puntos de medición de San Felipe y Los Andes	66
Tabla 24: Resumen índice HUMIDEX del verano 2021-22 de la ciudad de San Felipe	71

Tabla 25: Valores medios de HUMIDEX de los puntos de medición de San Felipe en tramos horarios diurnos.....	71
Tabla 26: Resumen índice HUMIDEX del verano 2021-22 de la ciudad de Los Andes	73
Tabla 27 : Valores medios de HUMIDEX de los puntos de medición de San Felipe en tramos horarios diurnos.....	73
Tabla 28: Valores medios de NDVI, durante el verano 2021-22 en los puntos de medición de San Felipe y Los Andes	74
Tabla 29: Número, porcentaje y accesibilidad a las AVU (m ² /hab. e IAc) de las ciudades de San Felipe y Los Andes.....	76
Tabla 30: Número, porcentaje y accesibilidad a AVU (m ² /hab. e IAc) por distrito censal	76
Tabla 31: Estimación de áreas verdes urbanas por habitantes, respecto a las áreas de influencia de los puntos de medición.....	77
Tabla 32: Superficie de las categorías ZCL en las ciudades de San Felipe y Los Andes	78
Tabla 33: Características de las zonas climáticas locales aplicados para los puntos de medición y estaciones meteorológicas.	79
Tabla 34: Estimación de las temperaturas atmosféricas y humedad relativa del aire promedio por segmentos horarios, en función de cada zona climática de representadas por puntos de medición de la ciudad de San Felipe.....	79
Tabla 35: Estimación de las temperaturas atmosféricas y humedad relativa del aire promedio por segmentos horarios, en función de cada zona climática de representadas por puntos de medición de la ciudad de Los Andes.....	80
Tabla 36: División política, administrativa y censal de las comunas de San Felipe y Los Andes.....	80
Tabla 37: Número de habitantes por localidad (2017).....	80
Tabla 38: Dinámicas de crecimiento en función de la población censal estimada y población futura proyectada desde la base del Censo 2017. Fuente: Elaboración propia, en base a INE (2022).....	81
Tabla 39: Cuadro comparativo de la población urbana y rural de las comunas de estudio, y dinámicas de sus tasas de crecimiento intercensales.	82
Tabla 40: Proporción de habitantes según grupos socioeconómicos, a nivel de distritos censales de la ciudad de San Felipe.	85
Tabla 41: Proporción de habitantes según grupos socioeconómicos, a nivel de distritos censales de la ciudad de Los Andes.	86
Tabla 42: Proporción de población extranjera residente pertenecientes a los cinco grupos socioeconómicos, a escala distrital, en la ciudad de San Felipe.....	87
Tabla 43: Proporción de población extranjera residente pertenecientes a los cinco grupos socioeconómicos, a escala distrital, en la ciudad de Los Andes.....	87
Tabla 44: Estimación de las superficies urbanas y las tasas anuales de crecimientos por periodos, en las ciudades de San Felipe y Los Andes.....	90
Tabla 45: Proporción de áreas vegetadas y construidas en función del índice NDBI, ajustado a las áreas urbanas de las ciudades de San Felipe y Los Andes.	91

Tabla 46: Proporción de áreas vegetadas y construidas en función del índice NDBI por distrito censal de la ciudad de San Felipe.	91
Tabla 47: Proporción de áreas vegetadas y construidas en función del índice NDBI por distrito censal de la ciudad de Los Andes	91

Índice de figuras

Figura 1 Escalas de estudio del clima urbano	9
Figura 2: Montos de precipitación medias mensuales de las estaciones meteorológicas Escuela Agrícola de San Felipe y Los Andes – DGA.	17
Figura 3: Montos totales anuales de agua caída en milímetros durante el periodo 1963-2021 en la estación Escuela Agrícola de San Felipe.....	18
Figura 4: Montos totales anuales de agua caída en milímetros durante el periodo 1972-2018 en la estación Los Andes – DGA	18
Figura 5: Área de estudio	21
Figura 6: Esquema conceptual del marco metodológico de trabajo	24
Figura 7: iButton.....	27
Figura 8: Dorso inverso del iButton, el cual muestra el tipo (Hygrochron) y el ID	27
Figura 9: Ubicación de zonas potenciales y puntos de medición	30
Figura 10: Fotografías de seis de los diez iButton instalados	31
Figura 11: Ganancia de temperaturas en segmentos horarios durante el verano 2021-22 en la ciudad de San Felipe.	44
Figura 12: Pérdida de temperaturas en segmentos horarios durante el verano 2021-22, en la ciudad de San Felipe	44
Figura 13: Ganancia de temperaturas en segmentos horarios durante el verano 2021-22 en la ciudad de Los Andes.....	46
Figura 14: Pérdida de temperaturas en segmentos horarios durante el verano 2021-22 en la ciudad de Los Andes.	46
Figura 15: Evolución de la isla térmica de diciembre 2021, por segmentos horarios, de las ciudades de San Felipe y Los Andes.....	50
Figura 16: Evolución de la isla térmica de enero 2022, por segmentos horarios, de las ciudades de San Felipe y Los Andes.....	52
Figura 17: Evolución de la isla térmica de febrero por segmentos horarios, de las ciudades de San Felipe y Los Andes	54
Figura 18: Evolución de la isla térmica de marzo, por segmentos horarios, de las ciudades de San Felipe y Los Andes	56
Figura 19: Porcentaje de días del verano 2021-22 con temperaturas máximas (TMAX) sobre umbrales térmicos ajustados entre rangos, de las ciudades de San Felipe y Los Andes	59
Figura 20: Evolución de la humedad relativa del aire por secciones horarias, en la ciudad de San Felipe durante el verano 2021-22.....	68
Figura 21: Evolución de la humedad relativa del aire por secciones horarias, en la ciudad de Los Andes durante el verano 2021-22.....	69
Figura 22: NDVI de verano 2021-22 de las ciudades de San Felipe y Los Andes.....	74

Figura 23: Proporción de residentes de las ciudades de San Felipe y Los Andes, en función de cada grupo socioeconómico (GSE).	85
Figura 24: Proporción de extranjeros residentes pertenecientes a cada grupo socioeconómico (GSE), en las ciudades de San Felipe y Los Andes.	86
Figura 25: Composición económica por puntos de medición de San Felipe	89
Figura 26: Composición económica por puntos de medición de San Felipe	89

Índice de Anexos

Anexo 1: Temperaturas de emisión superficial diurnas y nocturnas de las ciudades de San Felipe y Los Andes, correspondientes al cuatrimestre de verano 2001-2022	105
Anexo 2: Tabla de anomalías de temperaturas de emisión superficial de verano nocturnas de los puntos de medición de San Felipe, Chile	105
Anexo 3: Tabla de anomalías de temperaturas de emisión superficial de verano diurnas de los puntos de medición de San Felipe, Chile	106
Anexo 4: Tabla de anomalías de temperaturas de emisión superficial de verano nocturnas de los puntos de medición de Los Andes, Chile	106
Anexo 5: Tabla de anomalías de temperaturas de emisión superficial de verano diurnas de los puntos de medición de Los Andes, Chile	106
Anexo 6: Temperatura media cuatrimestral de las ciudades de San Felipe y Los Andes	107
Anexo 7: Tabla generalizada de los valores térmicos medios mensuales en todos los puntos de medición de San Felipe, correspondientes al cuatrimestre de verano 2021-22.	107
Anexo 8: Tablas de temperaturas medias horarias del mes de diciembre (1) y variaciones térmicas por hora (2) en San Felipe	108
Anexo 9: Tablas de temperaturas medias horarias del mes de enero (1) y variaciones térmicas por hora (2) en San Felipe	108
Anexo 10: Tablas de temperaturas medias horarias del mes de febrero (1) y variaciones térmicas por hora (2) en San Felipe	108
Anexo 11: Tablas de temperaturas medias horarias del mes de marzo (1) y variaciones térmicas por hora (2) en San Felipe	109
Anexo 12: Tabla generalizada de los valores térmicos medios mensuales en todos los puntos de medición de Los Andes, correspondientes al cuatrimestre de verano 2021-22.	109
Anexo 13: Tablas de temperaturas medias horarias del mes de diciembre (1) y variaciones térmicas por hora (2) de Los Andes	109
Anexo 14: Tablas de temperaturas medias horarias del mes de enero (1) y variaciones térmicas por hora (2) de Los Andes	110
Anexo 15: Tablas de temperaturas medias horarias del mes de febrero (1) y variaciones térmicas por hora (2) de Los Andes	110
Anexo 16: Tablas de temperaturas medias horarias del mes de marzo (1) y variaciones térmicas por hora (2) de Los Andes	110

Anexo 17: Tabla de datos medios de los indicadores meteorológicos < 30, [30 – 32,5), [32,5 – 35) y >= 35 de cada mes en los puntos de medición de San Felipe.....	111
Anexo 18: Tabla de datos medios de los indicadores meteorológicos < 30, [30 – 32,5), [32,5 – 35) y >= 35 de cada mes en los puntos de medición de Los Andes	111
Anexo 19: Porcentaje de horas consecutivas sobre umbrales térmicos de cada mes en los puntos de medición de San Felipe	112
Anexo 20: Porcentaje de horas consecutivas sobre umbrales térmicos de cada mes en los puntos de medición de San Felipe	112
Anexo 21: Valores medios horarios de humedad relativa del aire, correspondientes al periodo de verano 2021-22 en la ciudad de San Felipe	112
Anexo 22: Valores medios horarios de humedad relativa del aire, correspondientes al periodo de verano 2021-22 en la ciudad de Los Andes	113
Anexo 23: Mapa de las Zonas climáticas locales de las ciudades de San Felipe (1) y Los Andes (2).....	113
Anexo 24: Variaciones del número de habitantes por quinquenios respecto a los periodos censales de los años 1992, 2002 y 2017.....	114
Anexo 25: Evolución de la proporción habitantes por quinquenios respecto a los periodos intercensales de las comunas de San Felipe (1) y Los Andes (2).....	115
Anexo 26: Características demográficas de las ciudades de estudio	116
Anexo 27: Población extranjera residente y población indígena por manzana censal .	117
Anexo 28: Grupos socioeconómicos (GSE) por manzana censal de las ciudades de San Felipe y Los Andes, estimado al año 2021.....	118
Anexo 29: Estimación del crecimiento de la mancha urbana de las ciudades de San Felipe y Los Andes, entre los años 1985 y 2021.....	119
Anexo 30: Índice NDBI de las ciudades de San Felipe y Los Andes, extraído de imágenes del producto Sentinel-2 del día 3 de marzo de 2022.....	119

1. PRESENTACIÓN

1.1. Introducción

Cuando hacemos mención del fenómeno de cambio climático, de inmediato se le atribuye un carácter de abordaje global. Sin embargo, las ciudades conforman territorios claves para abordar los estudios del cambio climático, ya que allí es donde se manifiestan más significativamente los impactos y es, simultáneamente, donde se provocan las mayorías de las causas (Zulaica & Vázquez, 2021). Es importante indicar que actualmente el principal hábitat del ser humano es urbano y que más de la mitad de la población mundial reside en áreas urbanas. Es más, es en las ciudades donde se concentran los polos de desarrollo y producción económica, tal es así, que el 60% de la generación de dióxido de carbono, 78% del consumo de energía y el 70% del Producto Interno Bruto, a nivel mundial, se producen en ciudades (Gifreu-Font, 2018). Es por esto la importancia y necesidad de estudiar los comportamientos y las dinámicas climáticas a nivel regional, local y microclimático.

Tradicionalmente, la climatología urbana ha sido abordada como un componente natural y por ello tratada por las ciencias físicas, tales como la meteorología y la climatología. No obstante, cuando se toma en cuenta que las causas y consecuencias de los cambios de las variables meteorológicas al interior de la ciudad, se relaciona espacial y temporalmente con procesos socioeconómicos de la población, se advierte que este fenómeno trata de un problema de geografía ambiental (Romero *et al.*, 2010).

Landsberg (1981) define climatología urbana como el reflejo de la totalidad de los cambios microclimáticos generados por el hombre en la ciudad. Mientras que Capelli (2005) afirma que el clima urbano corresponde a las modificaciones inadvertidas e intencionales que las condiciones del sitio generan por sobre el clima regional y local.

La urbanización altera las características físicas de la superficie terrestre, provocando variaciones en los balances energéticos. En el interior de las ciudades, los materiales de construcción tienen una mayor inercia, permitiendo una mayor absorción de radiación de onda larga y menor emisión de la radiación de onda corta. Por lo cual, en las ciudades se presenta un menor enfriamiento radiativo que en las áreas rurales circundantes, debido a que el calor acumulado durante las horas diurnas queda almacenado varias horas después de la puesta sol (Smith & Andrade, 2013; Picone, 2014). Esto se traduce en generación y establecimiento de comportamientos particulares y característicos de los parámetros meteorológicos del interior de una ciudad, dando origen a un clima urbano.

La Isla de Calor Urbana (ICU en adelante) corresponde al fenómeno más analizado y aplicado dentro de los estudios de climatología urbana. El mismo corresponde a las diferencias positivas de las temperaturas en el interior de las áreas urbanas con respecto a su entorno rural (Picone, 2014). El primer estudio de esta materia data de a fines del siglo XIX en Londres, donde, a través de la instalación de una red fija de termómetros

podieron evidenciar diferencias de temperaturas entre la capital inglesa con sus entornos rurales, fundamentalmente en los valores extremos (Landsberg, 1981).

Desde el inicio de los estudios de la ICU siempre han sido a través de los componentes atmosféricos. No obstante, mediante los avances de la tecnología y del surgimiento de nuevos procesos metodológicos, se ha podido abordar esta área a través de las temperaturas de emisión superficial, denominándose Isla de Calor Urbana superficial (ICUs en adelante). La ICU y la ICUs presentan la misma génesis, pero no son exactamente lo mismo, poseen diferencias con respecto al desarrollo temporal, intensidad, metodología de estudio y representaciones de resultados (Sarricolea & Romero, 2010).

El formato de comparación de las temperaturas urbano-rural, es uno de los métodos tradicionalmente más utilizados para realizar los primeros acercamientos de un estudio de clima urbano en un área determinada. Este tipo de metodología se denomina “Intensidad de la Isla de Calor” (Picone, 2014). La intensidad de la Isla de Calor puede variar en función de las escalas espaciales y temporalidad del área de estudio, no obstante, tiene una relación directamente proporcional con la magnitud física de la ciudad y la cantidad de población que habita en ella (Oke, 1973). Desde la mitad del siglo XX se han empleado diversos trabajos utilizando este tipo de metodología, uno ejemplo de ello es el elaborado por Bornstein (1968), el cual logró estudiar la intensidad y dimensión espacial de la ICU de la ciudad de Nueva York, permitiendo conocer además como las características climáticas urbanas se extienden sobre las áreas rurales, determinando a priori, la composición de la pluma urbana (Oke, 1998).

A escala zonal, las zonas climáticas locales (ZCL en adelante) se definen por regiones de distribución uniforme de temperaturas atmosféricas y superficiales a escalas horizontales de 10^2 a 10^4 metros. Cada ZCL exhibe una geometría característica (geometría construida) y cobertura terrestre que representa o genera un clima único, bajo un contexto de tiempos calmos/estables y cielos despejados (Stewart & Oke, 2010). Esta clasificación está compuesta por 17 clases divididas en dos tipos: Tipos de construcción (10) y tipos de coberturas (7). Esta propuesta permite mejorar la metodología tradicional, de variabilidad de parámetros meteorológicos comparativos entre ciudad y entorno rural circundante, tratadas en los trabajos de clima urbano.

Romero et al., (2010) y Velázquez (2015) afirman que el clima urbano se representa a través de un complejo mosaico de paisajes, el cual reflejan, mediante la ICU por ejemplo, la presencia de profundas desigualdades socioespaciales. Los conjuntos residenciales de mayor poder adquisitivo están constituidos por complejos de baja densidad construida y alta proporción de áreas vegetadas, mientras que las áreas de menor renta se sitúan en espacios de construcciones más compactos y de baja concentración áreas verdes. Estas diferencias morfológicas tienden a producir la localización y extensión temporal de mayores temperaturas en sitios económicamente más deprimidos que con respecto a las áreas de mayor renta. Por lo tanto, aquellas desemejanzas asociadas a las externalidades negativas vinculadas a las características del clima urbano, y vinculados al contexto actual

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

de cambio climático, reflejan un profundo problema de justicia ambiental (Romero, 2009).

Chile ha evidenciado, desde el año 1950 un acelerado proceso de urbanización, siendo hoy uno de los países con la mayor proporción (89,1%) de habitantes residiendo en ciudades en el continente (INE, 2022). El modelo de desarrollo actual propone notorias limitaciones que permitan generar una urbanización más equilibrada e inclusiva. Las ciudades latinoamericanas están catalogadas como las más desiguales del mundo (ONU-Hábitat, 2012). Esto ha permitido que los riesgos ambientales y las capacidades de respuestas sean diferentes entre ciudades y entre barrios al interior de las mismas, afectando de manera desigual a los habitantes de distintos grupos socioeconómicos (Zulaica & Vázquez, 2020).

Henríquez *et al.*, (2020) y Zulaica & Vázquez (2020) reconocen la amplitud conceptual y la interdisciplinariedad del Riesgo. Sin embargo, remarcan que esta arista se ha ido perfeccionando, metodológicamente, en los ejes de estudios socioambientales. La concepción del riesgo se puede analizar a través de tres dimensiones, descritas a continuación:

- (i) Amenazas: Está definida como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural o tecnológico con la potencialidad de generar daños (Lavell, 1999)
- (ii) Exposición: Es la condición de susceptibilidad que tiene un asentamiento humano de ser afectado por fenómenos peligrosos (Cardona, 2001).
- (iii) Vulnerabilidad: Las características económicas, sociales y culturales que exponen a una población y la hacen susceptible a ser padecer daños respecto a una peligrosidad específica (Cardona, 2001).

Con respecto a las tres dimensiones mencionadas, se tratarán en el trabajo la exposición y la vulnerabilidad de las áreas vinculadas a los sitios de medición.

En este marco introductorio, la presente memoria de título propone estudiar y analizar la distribución termal intraurbana y el desconfort térmico ambiental de las principales áreas urbanas de las comunas de San Felipe y Los Andes¹, durante el *cuatrimestre* de verano 2021-22. La razón de la elección de periodo de medición se estableció con la intención de cubrir la combinación correspondiente a los periodos de verano astronómico y de verano meteorológico, específicamente desde el 1 de diciembre de 2021 hasta el 31 de marzo de 2022.

Para emplear los cálculos de la distribución termal intraurbana y desconfort térmico, se emplearon mediciones directas de temperaturas atmosféricas y humedad relativa del aire, a través de las instalaciones de diez puntos de medición, cinco en cada ciudad, además de considerar las dos estaciones meteorológicas activas de las áreas urbanas de estudio (Escuela Agrícola de San Felipe y SINCA de Los Andes).

¹ No se consideraron los distritos censales de San Rafael, Curimón y Tierras Blancas en San Felipe, y el distrito Laberinto en Los Andes

1.2. Planteamiento del problema

Romero *et al.*, (2010) afirma que en los inicios de los estudios del clima urbano estaban abordados exclusivamente por las áreas de las ciencias físicas, tales como la meteorología y la climatología. No obstante, debido a que las sociedades reconfiguran los ambientes naturales, especialmente a través de los espacios urbanos, el clima urbano ha comenzado a tener una gran relevancia en los estudios de las problemáticas geográficas, ya que a partir de esta perspectiva, es posible vincular los aspectos físicos y sociales que configuran esta temática. Por lo tanto, dentro de las ramas de la geografía, el clima urbano se enmarca bajo el área de la geografía física, debido a que las ciudades alteran de manera intencional e inadvertidamente los climas regionales y locales, afectando directamente en la población (Sala & Batalla, 1999; extraído de Picone, 2014).

La unidad de análisis del clima urbano se encuadra a escala local, pero es el clima regional quien le otorga las características climáticas principales a las ciudades, donde además también se ven alteradas por los efectos generados en los asentamientos humanos. Landsberg (1981) afirma que en condiciones de inestabilidad atmosférica, son las características regionales quienes priman sobre las ciudades, mientras que en situaciones de estabilidad, son los aspectos locales los que determinarían más el clima en los asentamientos.

La Isla de Calor Urbano (ICU) representa al fenómeno más estudiado en la climatología urbana. Corresponde a los incrementos de las temperaturas de las capas de aire que cubren la ciudad respecto a sus entornos circundantes. Según Sarricolea (2010), existen tres principales metodologías que abordan los estudios de la ICU, que corresponden a la medición de los registros de estaciones fijas; el método de transectos; y el uso de las bandas térmicas procedentes de las imágenes satelitales. A partir de la última metodología, se puede estudiar la Isla de Calor Urbana en Superficie (ICUs), que se define como el incremento de las temperaturas de las estructuras y cuerpos urbanos y que son capturados a través de sensores infrarrojos (Sarricolea & Romero, 2010).

Además de la modificación en la distribución y comportamiento de las temperaturas, el clima urbano también altera el resto de las variables meteorológicas. Smith (2013) indica que la humedad del aire se ve disminuida al interior de las ciudades en relación con sus entornos rurales, presentando una relación inversa respecto al aumento de las temperaturas. Además, la distribución espacial y horaria de la humedad del aire se ve modificada por los cambios de las coberturas de suelo y proporción de vegetación, disminución de la evapotranspiración y aumento de la permeabilidad del suelo. Duval (2020) afirma que los vientos también se ven alterados por las ciudades debido al efecto de fricción que provocan las edificaciones y los cuerpos urbanos. Estos efectos se pueden ver a escala locales y microescalar. Y por último, el patrón de las precipitaciones también se ven desconfigurados en el interior de las ciudades (Picone, 2014).

Es fundamental considerar los análisis de temperaturas, humedad y viento en los estudios de clima urbano, ya que permiten sentar las bases que contribuyen a los estudios de confort climático (Picone & Campo, 2016). Es necesario entender el confort climático, y sus derivaciones, a partir de la definición de sensación térmica, que según Barcia (2020) es la percepción de calor o frío del ambiente mediante la actividad neurálgica originada en los nervios de la piel que funcionan como receptores térmicos. Desde ahí, el confort climático se define como los estados de la mente humana que permiten expresar satisfacción con el ambiente térmico (Picone & Campo, 2016).

Además de los aspectos físicos que componen el clima de una ciudad, también es necesario considerar otras aristas de que están vinculadas con los estudios de la climatología urbana. En este trabajo se tomarán en cuenta dos segmentos que constituyen el eje social, que corresponden a los aspectos de la morfología urbana y a las caracterizaciones socioeconómicas y sociodemográficas de la población de las áreas de estudio.

Durante los últimos 120 años, el número de habitantes a nivel mundial creció exponencialmente pasando desde 1.600 millones en el año 1900 a 7.900 millones en el año 2020 (ONU-Hábitat, 2012). Los procesos de urbanización se van conformando en función del comportamiento del incremento demográfico en las ciudades (Catán, 2013). En Chile, desde la década de los cuarenta comenzó a darse con fuerza el proceso de migraciones procedentes desde el campo hacia las ciudades (Smith & Andrade, 2013). A nivel mundial, el crecimiento de la población urbana ha ido aumentando de manera significativa. En 1950, el 30% de la población mundial vivía en ciudades, a finales del siglo XX dicho porcentaje ascendió al 45%, donde finalmente creció al 55% para el año 2015 (ONU, 2020). En el caso de Chile el ascenso de la población urbana ha sido significativo, el cuál subió del 60% de la población total en 1952 (INE, 2005) al 87,8% en 2017 (INE, 2020).

Catán (2013) afirma que los procesos de urbanización se pueden entender a través de tres aristas. (i) concentración de la población en grandes aglomeraciones urbanas; (ii) simplificación de la restructuración de jerarquías entre ciudades, favoreciendo a los asentamientos de mayor tamaño en desmedro de las ciudades intermedias; (iii) restructuración interna de las ciudades. Aquello permite entender que los procesos de urbanización a nivel mundial han demostrado un importante desequilibrio urbano.

Las ciudades intermedias representan a las aglomeraciones urbanas que presentan la funcionalidad de intermediación entre las grandes metrópolis, con los asentamientos humanos de menor jerarquía. La definición de este grupo de ciudades está conformada por las dimensiones demográficas y urbanas, y por las funcionalidades articuladoras que estas urbes otorgan, a través de prestaciones de equipamientos de bienes y servicios a núcleos más pequeños (Catán, 2013).

Carrasco (2003) establece a través de la clasificación de los asentamientos humanos en Chile, que las ciudades intermedias están catalogadas como las urbes que poseen una cantidad de habitantes entre 50 a 300 mil. No obstante, una clasificación posterior a la anterior mencionada, elaborada por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo en el año 2007, estima que las ciudades intermedias son aquella que presentan una población que oscilan entre los 100 mil a 300 mil habitantes. Catán (2013) afirma que a pesar de que las urbes de San Felipe y Los Andes no superen los 80 mil habitantes cada una, las dos ciudades conforman una red intercomunal que se representa a través de un complejo tejido articulador compuesto entre los San Felipe y Los Andes como las ciudades cabeceras, y el resto de los núcleos menores, donde dicho número de habitantes a nivel de intercomuna supera levemente los 150 mil habitantes. A raíz de esta funcionalidad, podemos afirmar que las ciudades de San Felipe y Los Andes forman parte del grupo de las ciudades intermedias de Chile.

Según lo establecido por Maturana (2015), el impacto espacial que han tenido los diferentes tipos de asentamientos humanos, procedentes de las transformaciones sociales, económicas y culturales, es factible afirmar que las ciudades intermedias han reproducido, de manera general, los mismos procesos de urbanización que las grandes ciudades. Catán (2013) menciona que en Chile las ciudades intermedias crecen a mayor velocidad que las metrópolis regionales e inclusive, que la metrópolis nacional. Por lo tanto, y en función de lo dicho por Maturana (2015), debido a que las ciudades intermedias reproducen similares patrones de urbanización que en las grandes ciudades, se ha evidenciado que también se generan las mismas problemáticas sociales, urbanas y ambientales. Sin embargo, y desde una perspectiva positiva, podemos estimar, dado estos antecedentes, que a nivel de escala, existe una gran oportunidad de generar lineamientos bases para la construcción de una planificación territorial sustentable en ciudades intermedias, permitiendo tener un gran valor para su aplicación en otros asentamientos humanos que presentan diferentes características (Catán, 2013; Picone, 2014).

Hasta la fecha de este escrito, las ciudades de San Felipe y Los Andes no cuentan con un estudio climático urbano de manera integrada, por lo que este trabajo busca construir un importante aporte que permita generar una base climática de las áreas de estudio. En cuanto a sus Instrumentos de Planificación Territorial (IPT en adelante), el municipio de San Felipe posee una actualización de su Plan Regulador Comunal (PRC en adelante) del año 2021 y está en procesos de construcción su Plan de Desarrollo Comunal (PLADECO en adelante), correspondiente al periodo 2021-2025. En el caso de Los Andes la situación es inversa. Respecto al conjunto de materiales de planificación territorial, ambos municipios cuentan con el desarrollo teórico de los aspectos físicos naturales, sin embargo, carecen del tratamiento de las bases conceptuales vinculadas a las bases climatológicas locales.

1.3. Estado del asunto

La geografía física corresponde a una de las aristas disciplinarias de la geografía que constituye una perspectiva fundamental para los estudios de climatología, además de que esta misma forma parte de una de sus ramas de estudio. El clima corresponde a un sistema complejo definido mediante la síntesis conjunta de las condiciones atmosféricas de un área determinada, durante un periodo de tiempo prolongado (Gómez, 2014). Las escalas de análisis son uno de los aspectos primordiales para el estudio del clima. Ribeiro (1992) estima que el clima está sujeto a un conjunto integrados de fenómenos que actúan en función de un tiempo y espacio determinado, es por esto por lo que estos grupos de fenómenos se constituyen de acuerdo con su extensión y duración definido en función de las diferentes escalas. Por lo tanto, para los estudios del clima se han determinado cuatro unidades de análisis (Capelli, 2005):

- i. Clima zonal: Determinado por las configuraciones de las circulaciones atmosféricas.
- ii. Clima regional: Definido por la interacción entre las circulaciones atmosféricas y los factores de la superficie, tales como la forma y rugosidad de los continentes, y las corrientes oceánicas.
- iii. Clima local: Se produce a través de la alteración que provocan las características del sitio a las circulaciones atmosféricas regionales, generando una mayor variedad de condiciones climáticas, con aspectos distintivos pero primados por los aspectos regionales.
- iv. Microclima: Es resultado que ocasionan la interacción entre los aspectos climáticos locales con las condiciones particulares del sitio a una mayor escala de detalle.

Oke (1992) elaboró la clasificación de las escalas de análisis del clima respecto a su extensión horizontal espacial (ver tabla 1). Por otro lado, y anterior a la clasificación de Oke (1992), Yoshino (1975) categorizó las escalas de análisis considerando los extensiones horizontales y verticales, y la duración estimada de los fenómenos (ver tabla 2)

Tabla 1: Extensión horizontal de los fenómenos meteorológicos en función de las unidades de escalas de análisis

Tipo de escala	Extensión horizontal
Macroclima	200 km a 100.000 km
Mesoclima	10 km a 200 km
Clima local	100 m a 50 km
Microclima	0,01 a 10 ³ m

Elaboración propia en base a Oke (1992)

Tabla 2 Unidades de análisis del clima.

Unidad de análisis	Extensión horizontal	Extensión vertical	Clima representativo	Temporalidad
Macroclima	2×10^5 a 5×10^7 m	10 a 10^5 m	Zona o dominio climático	1 a 11 días
Mesoclima	10^3 a 2×10^5 m	10 a 6×10^3 m	Clima de una cuenca	2,5 hs a 1 día
Clima local	10^2 a 10^4 m	10 a 10^3 m	Clima de una ladera	10 seg a 2,5 hs
Microclima	10^{-2} a 10^2 m	10^{-2} a 10 m	Clima de un invernadero	hasta 10 seg

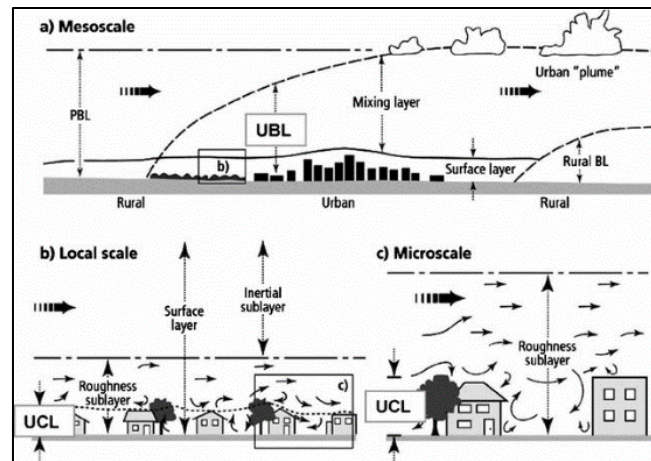
Elaboración propia en base a Yoshino (1975), extraído de Yamashita (1990)

El clima urbano lo podemos definir como los cambios inadvertidos e intencionales de las condiciones atmosféricas que se generan sobre los climas regionales (Romero, 2010). Este se encuadra a escala local y microescala (Picone, 2014). El clima regional le confiere las características, que además, son modificadas por las condiciones del sitio, ocasionadas fundamentalmente por las ciudades (Capelli, 2005).

Debido a que las áreas urbanas modifican las condiciones atmosféricas, a través de los cambios de las características radiativas, térmicas, de humedad y aerodinámicas (Burgos, 2021), siendo necesario definir los componentes principales que se presentan y configuran los patrones climáticos a escala regional, local y microescala presentes en los asentamientos humanos. La capa límite urbana, *Urban boundary layer* en inglés, cuya sigla es UBL, denominado así en adelante², está definida como la fricción del viento regional con la superficie terrestre, su espesor varía respecto al horario y al estado del tiempo predominante, siendo mayor durante las horas diurnas, alcanzando hasta los 2 kilómetros de altura. La Pluma urbana es la extensión de las características de la capa límite urbana sobre las zonas rurales (Picone, 2014). A escala local, y por debajo de la UBL se evidencia la interacción entre la capa superficial y la capa de fricción, ambas están determinadas por la densidad, altura y rugosidad de las estructuras y cuerpos urbanos (Burgos, 2021). En la figura 1 se muestran las escalas de estudio del clima urbano y sus principales componentes.

² UBL: Urban boundary layer

Figura 1 Escalas de estudio del clima urbano



Fuente: Oke (1998), extraído de Gosling (2014).

Romero (2010) y Picone (2014) afirman que debido a las causas provocadas por las sociedades sobre el clima global, acuñado a lo expuesto por Gifreu-Font (2018) respecto a la incidencias y concentraciones que generan las ciudades asociado a la generación de GEI y demandas de energía, la climatología, y en específico el clima urbano ha pasado a ser una arista disciplinaria tratada por la geografía.

La Isla de Calor Urbana (ICU) corresponde al fenómeno más estudiado en la climatología urbana. Se define como el aumento de temperatura que presenta las temperaturas de la capa de aire que cubre la ciudad respecto a sus entornos rurales circundantes (Sarricolea & Romero, 2010). El concepto de *isla de calor* hace referencia al patrón de distribución concéntrica que presentan las temperaturas dentro de una ciudad, donde los máximos térmicos se ubican en las áreas de construcciones más compactas y el descenso de temperaturas se va emplazando a medida se va alejando del principal núcleo urbano (Gómez, 2014). No obstante, Sarricolea (2008) asegura que es complejo estimar un patrón de estacionalidad y distribución espacial y temporal de las temperaturas urbana de forma global, como también de la máxima intensidad, ya que estos aspectos dependen fuertemente de los factores urbanos y geográficos que presenta cada ciudad.

La intensidad y distribución espacial y temporaria de la ICU dependen exclusivamente de las características geográficas y estructurales del sitio (Williams, 2019), que además están condicionadas por las dinámicas atmosféricas presentes desde la parte superior de la capa límite urbana hacia la superficie terrestre (Burgos, 2021). Martin-Vide et al., (2015) define a la intensidad de la ICU como la diferencia de temperaturas entre las áreas urbanas y las rurales circundantes, a través de mediciones directas como, por ejemplo, estaciones meteorológicas. Para la aplicación de las intensidades es necesario tomar en cuenta que los factores geográficos locales entre el punto urbano y el rural deben ser semejantes, ya que de esta manera nos permite conocer, de manera más segura, el efecto que ejerce la ciudad sobre el clima local y/o regional. Estos principales factores

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

corresponden a la altitud y la distancia al mar entre los puntos de medición (Martin-Vide et al., 2015).

La Isla de Calor Urbana en superficie (ICUs) se define como la mayor concentración de las temperaturas en las estructuras y cuerpos urbanos con respecto a sus entornos rurales circundantes. Tanto la ICU como la ICUs poseen la misma génesis pero técnicamente son distintas, debido a las diferencias que presentan respecto a las características asociadas al desarrollo temporal, condiciones de máxima intensidad, metodología de medición y formas de representación gráfica (Sarricolea & Romero, 2010). En cuanto a las metodologías de trabajo, Voogt (2002) establece tres tipos: variaciones termales en las ciudades: Registro y medición de estaciones meteorológicas; método de transectos; y la utilización de bandas térmicas procedentes del procesamiento de imágenes satelitales. Sarricolea & Romero (2010), a través del estudio de la ICUs del Área metropolitana de Valparaíso, Chile, la aplicación de un modelo de regresión que permite asociar las fuerzas de la relación entre las principales variables que permiten condicionar la distribución espacial de las temperaturas de emisión superficial del área de estudio. Estas variables son la topografía de la ciudad; la exposición de laderas; la distancia a cuerpos de agua; la reflectividad del suelo; la humedad del suelo; la cobertura vegetal; y la densidad de la población. Aquellos factores fueron considerados, teóricamente, a través de los trabajos de Hogan & Ferrick (1988) y Cuadrat *et al.*, (2005).

Retomando con los principales elementos meteorológicos que se ven modificados por los efectos de las ciudades. La humedad relativa del aire posee una relación inversa con respecto a la temperatura atmosférica, ya que cuando se genera una ICU también se genera una isla de sequedad (Picone, 2014). Los cuerpos vegetales mediante la evapotranspiración permiten el aumento de la humedad relativa del aire y disminuyen la cantidad de energía disponible en la atmósfera para hacer almacenada en las estructuras urbanas, reduciendo las temperaturas. Además, capturan los contaminantes atmosféricos, como el CO₂, y ayudan a mejorar las condiciones de ventilación en las ciudades, ya que enfrían las masas de aire que se mueven hacia áreas de menor presión atmosférica, provocando brisas locales (Smith & Andrade, 2013).

Según Oke (1992), el viento es afectado por las ciudades, ya que las edificaciones generan un efecto de fricción sobre las mismas, generando una disminución de las velocidades. A escala microclimática se puede evidenciar que la morfología urbana, específicamente las edificaciones en altura provocan cañones de vientos y remolinos. Esto es debido a que las construcciones en altura comprimen el flujo de aire, incrementando las velocidades de los vientos y generando remolinos cuando existen diferencias de alturas entre las edificaciones.

Las precipitaciones también se ven afectadas por las ciudades. Picone (2014) logra estimar tres principales cambios a escala local. El primero establece que la ICU provoca un aumento de los movimientos convectivos, generando mayores precipitaciones en los centros urbanos. En segundo lugar, las edificaciones en altura constituyen barreras de

avance en periodos de tormenta, alterando la distribución de las precipitaciones a nivel de microescala. Y por último, las ciudades modifican las composiciones químicas del agua precipitada, cambiando el pH de la misma.

Los análisis de temperatura, humedad y viento han contribuido estudiar los aspectos del confort climático. Picone (2016) lo define como las condiciones de la mente humana que expresan satisfacción con el ambiente térmico. Las condiciones de confort varían al interior de las ciudades, generando áreas donde son más confortables que otras en determinadas horas del día y épocas del año. Por otro lado, la biometeorología permite vincular los cambios de las condiciones del tiempo con la ocurrencia de enfermedades metrotrópicas (Picone, 2014), como por ejemplo, el incremento de incidentes cardiovasculares por golpes de calor ocasionadas por la ola de calor de diciembre del 2013 en Argentina (Chesini *et al.*, 2019).

Barcia *et al.*, (2020) estima que existen numerosas formas de expresar la sensación y el estrés térmico de las personas, cuantificados a través de la cantidad de al menos 150 índices de confort. No obstante, los indicadores se pueden agrupar en dos tipos de enfoques: el enfoque empírico, que está basado en las combinaciones de las variables meteorológicas como lo son la temperatura, viento y humedad, expresados a través de los índices HUMIDEX, Temperatura Efectiva (TE), Windchill (WCI), Índice de Calor (HI), entre otros; y el enfoque analítico o racional, que se fundamenta en los aspectos vinculados a los balances energéticos y las características fisiológicas de los seres humanos, como los índices de Temperatura Fisiológica Efectiva (PET), el de Temperatura Efectiva Estándar (SET), el Índice Térmico Universal del Clima (UTCI), entre otros.

En este trabajo se empleó la aplicación del índice HUMIDEX para interpretar y estudiar la variabilidad espacial y temporal del confort térmico ambiental dentro de las ciudades de estudio. Este índice, creado y desarrollado en 1965 por el Servicio Meteorológico de Canadá, constituye en buscar la temperatura efectiva que el individuo percibe bajo ciertas condiciones de temperatura y humedad (Picone & Campo, 2016). Su fórmula es la siguiente:

$HUMIDEX = T + 5/9 * (e - 10)$; donde,

e: Es la presión de vapor, cuya fórmula es: $[6,112 * 10^{(7,5 * T / (T + 237,7))} * (H/100)]$

T: Temperatura del aire (°C)

H: Humedad relativa del aire (%)

Debido a que el calor genera un grado de estrés personal, que puede variar en función de la edad y de las condiciones físicas, actividad rutinaria y estado de salud (Henríquez *et*

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

al., 2020). La escala del índice HUMIDEX está clasificada en cinco categorías, expuesta en la tabla 3.

Tabla 3: Categorías del índice HUMIDEX y principales sintomatologías

Humidex	Estado	Sintomatología
20 - 29	Confortable	Ligera incomodidad. Probable fatiga durante exposiciones prolongadas, o en medio de la realización de actividades físicas
30 - 39	Algún disconfort	Incomodidad moderada. Probable golpe de calor durante las realizaciones de actividades físicas o por exposición sencilla al aire libre
40 - 45	Gran disconfort	Probabilidad muy alta de sufrir un golpe de calor durante una exposición al aire libre. Se debe evitar la realización de ejercicios físicos
45 - 53	Peligro	Inminente golpe de calor. Se debe evitar exponer al aire libre
>53	Gran peligro	Inminente peligro de sufrir infarto al corazón

Fuente: Elaboración propia (2022), en base a Picone & Campo (2016), Henríquez *et al.*, (2020) & Barcia *et al.*, (2020).

La humedad relativa del aire es un elemento que influye directamente en la percepción térmica del individuo, ya que bajo una temperatura constante, si el contenido hídrico en la atmosfera aumenta, la sensación térmica también. Esto es debido a que bajo condiciones de temperaturas altas y humedad relativamente bajas, el cuerpo humano mediante la sudoración permite poder refrescarse ya que, el sudor de la piel al encontrarse en estado líquido sobre ella se evapora producto de que el contenido humedad de la atmosfera es menor a la del cuerpo. No obstante, si el aire circundante contiene mucha humedad, el sudor de la piel no podrá evaporarse, por lo que este queda sobre la epidermis y el cuerpo humano no podrá refrescarse (Barcia *et al.*, 2020).

Dado lo anterior, el índice HUMIDEX es muy dependiente a la humedad, en especial si las temperaturas son superiores a los 30°C. Tal como se muestra en la tabla 4, sobre los 35°C, el HUMIDEX está sobre 1 grado si la humedad relativa del aire está al 20%, pero este mismo estará sobre 11 grados de la térmica instrumental si la humedad está al 50% y sobre 21 si está al 80%. Los colores que se visualizan en la tabla 4 representan a las categorías del índice respectivo.

Tabla 4: Conversión del índice HUMIDEX respecto a los valores de temperaturas atmosféricas (°C) y humedad relativa del aire (%).

		Humedad Relativa del Aire (%)																			
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Temperatura del aire (°C)	20	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
	21	16	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	22	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	32	33	34	35	36	37	38
	23	19	20	21	22	23	24	25	26	28	29	30	31	32	33	34	35	37	38	39	40
	24	20	21	22	23	24	25	27	28	29	30	31	32	34	35	36	37	38	39	41	42
	25	21	22	23	24	26	27	28	29	30	32	33	34	35	36	38	39	40	41	42	44
	26	22	23	24	25	27	28	29	30	32	33	34	36	37	38	39	41	42	43	44	46
	27	23	24	25	27	28	29	31	32	33	34	36	37	38	40	41	42	44	45	46	47
	28	24	25	26	28	29	30	32	33	35	36	37	39	40	41	43	44	45	47	48	49
	29	25	26	28	29	30	32	33	35	36	37	39	40	42	43	44	46	47	48	50	51
	30	26	27	29	30	32	33	34	36	37	39	40	42	43	44	46	47	49	50	52	53
	31	27	28	30	31	33	34	36	37	39	40	42	43	45	46	47	49	50	52	53	55
	32	28	29	31	32	34	36	37	39	40	42	43	45	46	48	49	51	52	54	55	57
	33	29	31	32	34	35	37	38	40	41	43	45	46	48	49	51	52	54	55	57	58
	34	30	32	33	35	36	38	40	41	43	44	46	48	49	51	52	54	56	57	59	60
	35	31	33	34	36	38	39	41	43	44	46	47	49	51	52	54	56	57	59	60	62
	36	32	34	35	37	39	40	42	44	46	47	49	51	52	54	56	57	59	61	62	64
37	33	35	37	38	40	42	43	45	47	49	50	52	54	55	57	59	61	62	64	66	
38	34	36	38	39	41	43	45	46	48	50	52	54	55	57	59	61	62	64	66	68	
39	35	37	39	41	42	44	46	48	50	51	53	55	57	59	60	62	64	66	68	69	
40	36	38	40	42	44	45	47	49	51	53	55	56	58	60	62	64	66	67	69	71	

Fuente: Elaboración propia (2022), en base a Picone & Campo (2016), Henríquez *et al.*, (2020) y Barcia *et al.*, (2020)

El disconfort térmico, causado por el exceso de calor y/o frío, favorece el aumento del consumo energético para la climatización (Picone, 2014). Smith & Andrade (2013) señalan que durante las horas diurnas de verano, las ciudades registran 2,5°C más que en las áreas rurales, incrementando la demanda energética, estimando que esta misma aumenta de entre 2 y 4% por cada 1°C de aumento, pasado los 20°C. Se estima que un estado de confort térmico se ubica con temperaturas que fluctúan entre los 21 y 26°C, con un porcentaje de humedad relativa que oscila entre el 35 y el 70%.

Por lo tanto, durante este último decenio es posible afirmar que los estudios de clima urbano pueden constituirse en uno de los principales objetivos del mejoramiento en el planeamiento urbano, ya que a través de la integración de las variables físicas y sociales, se puede mejorar la calidad de vida las personas. No obstante, a pesar de las bases de trabajo de estos estudios han ido en aumento, su información asociada no ha sido considerada por los decisores políticos en el momento de construir planes de zonificación y mejoramiento urbano (Picone, 2014). En específico, las ciudades de San Felipe y Los Andes cuentan con una caracterización climática genérica, que no ha llegado a considerar los aspectos ambientales a escala de barrios.

El volumen de investigaciones vinculadas al clima urbano, tales como los estudios de ICU, ICUs, llevados a cabo en sus inicios, hasta el desarrollo de estudios relacionados con la justicia y calidad climática, se ha concentrado históricamente en ciudades europeas

y norteamericanas, siendo actualmente las de mayores avances y desarrollo en la generación de aplicaciones teóricas y metodológicas de esta disciplina (Gómez, 2014). En América Latina estos estudios comenzaron a llevarse a cabo a partir de la década de los noventa, siendo las urbes brasileras las primeras en incursionarse en esta área (de Figueiredo, 1990). En el caso de Chile, los trabajos de climatología urbana empezaron a tener un mayor progreso desde el año 2005, siendo mayormente aplicados en la ciudad de Santiago, visto por ejemplo en los trabajos abordados por Romero & Sarricolea (2006), Molina et al., (2008), Romero et al., (2010), Sarricolea & Martin-Vide (2013, 2014), pero también, se han aplicado investigaciones de esta misma temática en otras ciudades del país, como en Rancagua (Sarricolea et al., 2008), Valparaíso (Sarricolea & Romero, 2010) y Chillán (Smith & Henríquez, 2016, 2021).

En Chile durante este último decenio, se han ido desarrollando trabajos que tienen como objetivo entregar lineamientos de adaptación al cambio climático para un importante número de ciudades del país, a través de profundas investigaciones que integran las variantes físicas, propias del clima a escala regional y local, con los aspectos políticos, económicos, sociales y culturales, de la población (Henríquez *et al.*, 2020). Esto se ha permitido llevar a cabo gracias a la construcción del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, que en el año 2012 incorporó en sus ramas la elaboración del Plan de Adaptación al Cambio Climático en ciudades, que busca describir, caracterizar, analizar los antecedentes climáticos y sociales en los principales municipios la nación, con el fin de crear medidas de acción y marcos estratégicos que permitan responder al cambio climático desde las ciudades, asegurando que sean los niveles de administración regional y local uno de los principales protagonistas de estos impulsos, ya que podrán atender las particularidades que se presenten en cada territorio, debido a que el municipio corresponde al nivel de gobernanza más cercano a la población (Ministerio del Medio Ambiente, 2018).

En el año 2014 nació la Red de Municipios ante el Cambio Climático, impulsado por Adapt Chile. Corresponde a una comunidad de práctica abierta cuyo objetivo principal es orientar el quehacer municipal en Chile en lo que respecta a la acción climática, a través de tres ámbitos: Político/estratégico; técnico y comunicacional. Esta red entrega una plataforma para que los municipios puedan trabajar en la integración del cambio climático mediante su gestión y planificación, buscando promover la capacidad de adaptación, mitigación, resiliencia y sustentabilidad en cada territorio. Hasta el momento son 59 los municipios que integran esta red (Red Chilena de Municipios ante el Cambio Climático, 2017).

Adapt Chile es una organización sin fines de lucro, cuyo rol es ser el coordinador de la red, lo cual tiene funciones tales como de secretaría técnica, administrativa y política. Esta organización provee de herramientas necesarias que permita ayudar a los municipios en los procesos de adaptación y mitigación ante el cambio climático. Las herramientas de trabajo poseen metodologías de diagnóstico, análisis de vulnerabilidad y planificación

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

estratégica, para la construcción de perfiles climáticos municipales y planes locales de cambio climático (Red Chilena de Municipios ante el Cambio Climático, 2017).

Cada municipio debe realizar una serie de procesos para poder incorporarse a la red. En primer lugar se definen tres grandes ejes que contienen una serie de etapas que tienen que ajustarse determinados periodos de tiempo. Estos ejes son: (i) Diseño e implementación de estrategia de comunicación y participación, que cumple con una duración de 18 meses de aplicación; (ii) Participación y comunicación constante de actividades realizadas en el marco de la Red (reuniones presenciales y virtuales, talleres, seminarios, etc.), que debe durar 1 año, y en tercer lugar el Levantamiento en conjunto de fondos, que se debe iniciar en la etapa final del primer año, hasta su próxima actualización. Para ello, uno de los principales objetivos de esta red es asegurar que todos los municipios miembros deben contar con un Plan de Acción Local de Cambio Climático (PLCC), ya sea para el corto o mediano plazo, el cual consiste en una herramienta estructural que busca cumplir con los mismos objetivos propuestos por la red, que es de orientar la gestión de cada municipio hacia la mitigación y adaptación al cambio climático. Cada PLCC debe definir nueve áreas prioritarias, tales como: Agua; Energía; Ecosistemas; Gestión de residuos; Transporte y movilidad; Salud; Gestión de riesgo de desastres; Identidad y cultura; e Infraestructura. Todas estas áreas prioritarias están vinculadas con los elementos centrales del Plan de Acción Nacional de Cambio Climático (PANCC), el Plan de Adaptación Nacional de Cambio Climático, la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (Red Chilena de Municipios ante el Cambio Climático, 2017).

Los municipios de San Felipe y Los Andes de la región de Valparaíso no forman parte de esta red, lo que tampoco cuentan con un PLCC. Además, las últimas actualizaciones de los informes ambientales para las construcciones de los PRC de ambas comunas fueron desarrolladas el 2014 por el municipio de San Felipe, y el 2017 por el municipio de Los Andes, lo cual todavía no entregan un marco estratégico de acción y adaptación, que incluyan los vectores de amenazas, vulnerabilidad y riesgo, asociados al cambio climático. Es por ello, que la justificación principal de este trabajo busca contribuir a la construcción de la información de base climática para las áreas urbanas de las ciudades de estudio.

1.4. Caracterización del área de estudio

La caracterización del área de estudio se aborda a través de dos subtemas: El primero corresponde a las características físicas y naturales, donde se detallan los aspectos climáticos, vinculándolas con los aspectos geomorfológicos, hidrográficos, biogeográficos y edáficos. El segundo son las características sociales de las áreas, donde se presentan las descripciones asociadas de los principales procesos de urbanización y de evolución demográfica.

Tal como ha sido mencionado durante el escrito, las áreas de estudios escogidas son San Felipe y Los Andes. Ambas urbes, catalogadas como ciudades intermedias³ (Catán, 2013) cuentan con una población total de 76.844 y 66.708 habitantes, cada una respectivamente. Se encuentran ubicadas en la región de Valparaíso, situadas en la sección este de la cuenca del río Aconcagua. La principal razón de la elección del área de estudio viene dada en que hasta el momento, ambas ciudades no poseen una base climática integrada, que pueda los aspectos meteorológicos a escalas barriales. Además, la elaboración de este trabajo está bajo el alero de la construcción climática de las ciudades intermedias, que tiene como por objetivo otorgar bases estadísticas meteorológicas que puedan servir como base para estudios climáticos urbanos futuros.

1.4.1. Características físicas y naturales

El clima del área de estudio es de tipo semiárido, con veranos cálidos y secos e inviernos frescos y húmedos, lo que constituye en una clasificación climática de tipo BSk(s) (Sarricolea *et al.*, 2016). Existen tres estaciones meteorológicas que se encuentran ubicadas en los centros urbanos de las ciudades de estudio, una situada en la ciudad de San Felipe: Escuela Agrícola, antiguamente bajo la propiedad de la DGA⁴ cuando entró en vigor en abril de 1962 y que desde 2012 pasó al dominio de la DMC⁵; y dos en la ciudad Los Andes: Los Andes – DGA, en desuso desde 2019⁶, y Los Andes SINCA, activa desde 2007⁷.

La estación Escuela Agrícola de San Felipe presenta una pluviometría media de 198,9 milímetros, correspondientes al periodo 1963-2021. Los meses más lluviosos son junio y julio, con medias de 50,6 mm. cada uno y concentrando la mitad de la cantidad de agua caída en un año promedio, mientras que los más secos (<1 mm.) son enero y febrero con valores medios de 0,9 y 0,1 mm., respectivamente. En el caso de Los Andes - DGA la situación es similar en cuanto a cantidades y distribución mensual de agua caída. Su media pluviométrica es de 262,1 mm., correspondiente al periodo 1972-2016. Los meses que

³ La categorización de una *ciudad intermedia* está constituida en función del número de población y de su rol, como red articuladora entre metrópolis de mayor tamaño con asentamientos más pequeños (Catán, 2013)

⁴ Dirección General de Aguas.

⁵ Dirección Meteorológica de Chile.

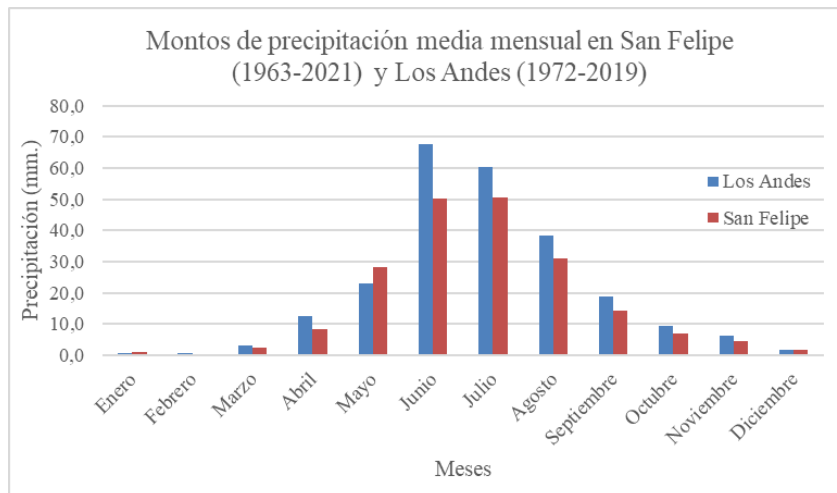
⁶ No posee datos de temperaturas

⁷ Sistema de Información Nacional de la Calidad del Aire.

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

acumulan la mayor cantidad de agua caída son junio con 66,9 mm. y julio con 62 mm., equivalentes a la mitad de un año normal, en tanto por otro lado, enero y febrero conforman como los meses más secos, con cifras que promedian el 0,8 y 0,6 mm., respectivamente. En la figura 2 se grafican los montos pluviométricos medios mensuales ajustados a los periodos de medición de las estaciones meteorológicas de San Felipe y Los Andes.

Figura 2: Montos de precipitación medias mensuales de las estaciones meteorológicas Escuela Agrícola de San Felipe y Los Andes – DGA.



En cuanto a la variación temporal pluviométrica anual, se evidencia una importante baja en los montos totales de agua caída por año. Durante la última década de medición registraron durante 8 años cifras menores a la media pluviométrica de ambas ciudades. Dicho de otras maneras, desde 2012 hasta 2021, San Felipe registró una baja promedio del 35% de las precipitaciones, equivalente a 69 milímetros menos respecto a la media, en el caso de Los Andes, la caída fue del 21% entre 2012 hasta 2019, correspondiente a 55 milímetros menos. Aquella tendencia viene reforzada debido a la extensión temporal del ciclo de La Niña en el pacífico suroriental durante esta última década, mermando la cantidad en días y en montos de precipitaciones en la zona central del país (Sarricolea *et al.*, 2016).

En las figuras 3 y 4 se presentan los montos totales anuales durante los periodos de medición y registro de las estaciones meteorológicas de Escuela Agrícola de San Felipe y de Los Andes – DGA. En ambos se evidencian una tendencia a la baja respecto a la cantidad de agua caída a medida avanzaron los años, donde el coeficiente de correlación en las dos estaciones fue de -0,14 y -0,22, respectivamente.

Figura 3: Montos totales anuales de agua caída en milímetros durante el periodo 1963-2021 en la estación Escuela Agrícola de San Felipe

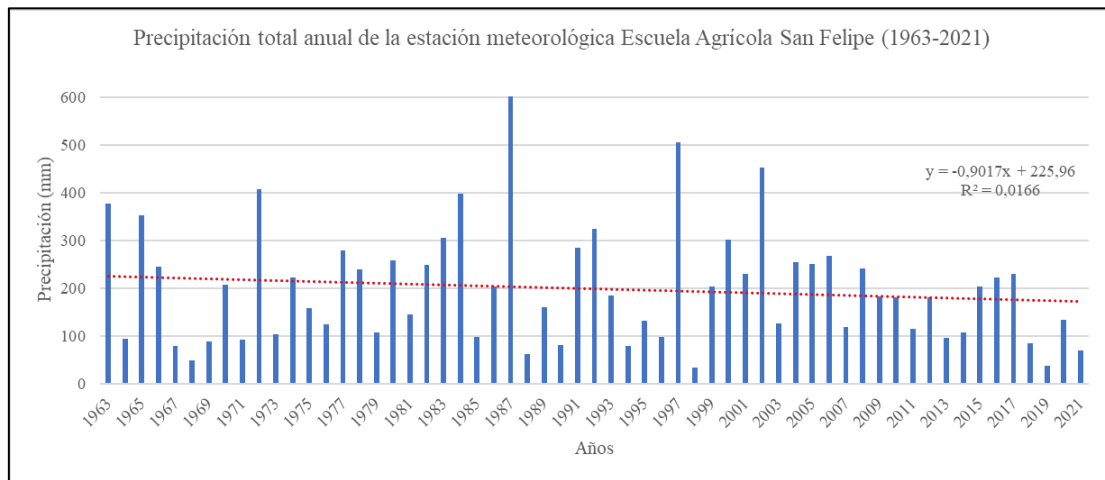
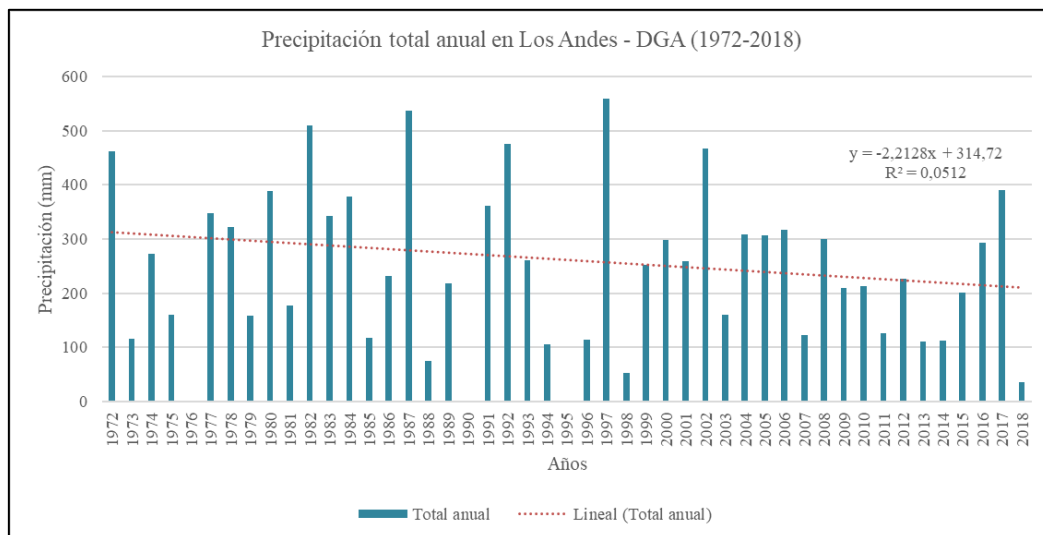


Figura 4: Montos totales anuales de agua caída en milímetros durante el periodo 1972-2018 en la estación Los Andes – DGA



Si bien es cierto que a lo largo del trabajo no se tomarán en cuenta los aspectos la variabilidad de precipitaciones intraurbanas, es necesario indicar que se evidencia una notoria caída en los montos pluviométricos durante los últimos 50 años, prolongándose los periodos de sequía y convirtiéndose en una potencial amenaza para la población del sitio.

La temperatura media anual de la estación Escuela Agrícola de San Felipe, correspondiente al periodo 1981-2021, es de 16,4°C. El mes más cálido es enero con 22°C, mientras que el más frío es julio con 10,2°C. Respecto a las temperaturas extremas, desde diciembre hasta marzo, es decir, cuatro de los doce meses del año registran máximas medias superiores a los 30°C, y dos meses presentan valores térmicos medios máximos inferiores a los 20°C (junio y julio). En cuanto a las mínimas, solo tres meses

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

(diciembre hasta febrero) patentan temperaturas mínimas medias superiores a los 10°C, mientras que el resto registran cifras más bajas respecto a aquel umbral, siendo julio el mes donde se apuntan los menores valores térmicos medios mínimos, con 2,3°C. Lo anterior verifica una gran amplitud térmica anual, con 18,7°C, donde son en los meses de verano los que presentan la mayor variación térmica, superando los 20°C. En la tabla 5 se muestran los valores de temperaturas medias mensuales y anuales de la estación Escuela Agrícola de San Felipe, correspondiente al periodo 1981-2021. Además, en la misma se presentan los coeficientes de correlación que busca explicar la fuerza de la relación entre la variabilidad de temperaturas respecto a los años.

Tabla 5: Valores descriptivos medios de temperaturas mínimas, máximas y medias, y sus coeficientes de correlación respectivos de la estación Escuela Agrícola de San Felipe

Estación Esc. Agrícola	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
Temp. Media	22,0	21,6	20,1	16,6	13,0	10,8	10,2	11,8	14,0	16,6	19,0	21,0	16,4
Temp. Máxima	32,3	31,9	30,6	26,5	21,7	18,6	18,1	20,0	22,6	25,9	29,1	31,3	25,7
Temp. Mínima	11,8	11,2	9,6	6,7	4,3	2,9	2,3	3,5	5,5	7,4	8,9	10,6	6,8
Coef. Correlación med	0,61	0,46	0,51	0,33	0,35	0,05	0,25	0,22	0,32	0,12	0,41	0,29	0,60
Coef. Correlación max	0,73	0,53	0,69	0,39	0,52	0,29	0,51	0,44	0,49	0,41	0,57	0,56	0,77
Coef. Correlación min	0,22	0,18	-0,16	-0,14	-0,27	-0,34	-0,29	-0,28	-0,26	-0,51	-0,24	-0,30	0,18

En cuanto a la variabilidad temporal, se puede identificar un incremento gradual de las temperaturas medias anuales, siendo más notorias los aumentos de las temperaturas máximas. Desde 1981 hasta 1990, la temperatura media anual de década fue de 16,1°C, en el decenio 1991-2000 fue de 16,2°C, en el de 2001-2010 fue de 16,3°C y en el de 2011-2021 fue de 16,9°C. En promedio, las temperaturas medias anuales se incrementaron en una media de 0,5°C durante la última década. Bajo el mismo periodo de tiempo, las temperaturas máximas aumentaron en un 1,4°C, mientras que las mínimas disminuyeron en -0,3°C.

Las altitudes sobre el nivel del mar fluctúan entre los 610 y 670 m.s.n.m. en San Felipe, y entre los 790 y 860 m.s.n.m. Ambas ciudades son relativamente planas, donde el sentido de elevación asciende desde el oeste hasta el este en ambos centros urbanos.

En cuanto a las características geomorfológicas de las áreas de estudios, las comunas de San Felipe y Los Andes se emplazan sobre las unidades morfoestructurales del Valle transversal y de la Cordillera de los Andes. Todas las zonas urbanas de las comunas se ubican en la primera unidad, compuesta fundamentalmente por la llanura aluvial, que se caracteriza por tener pendientes inferiores a 10°, conformadas por depósitos aluviales. Desde el punto de vista hidrogeológico, es en la llanura aluvial donde se concentran las mayores expectativas de captar caudales significativos de agua subterránea (Ministerio de Obras Públicas, 2004).

Según el inventario de cuencas, subcuencas y subsubcuencas de Chile, la ciudad de San Felipe se ubica en la subsubcuenca del Estero Quilpué (código 05415), mientras que la

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

ciudad de Los Andes se sitúa en la subsubcuenca del Río Aconcagua, entre Río Colorado y Río Putaendo (código 05410). Ambas subsubcuencas se emplazan en la subcuenca Aconcagua media (0541), perteneciente a la cuenca, de tipo exorreica, Aconcagua (054) (Ministerio de Obras Públicas, 2013).

Respecto a las características de los suelos, el constante relleno del cauce del río con rodados ha generado un levantamiento de su lecho, provocando áreas depresivas situadas a las cercanías de los cerros. A lo largo del Valle del Aconcagua, es posible agrupar las clasificaciones de los diferentes tipos de suelo en tres categorizaciones taxonómicas: Alfisoles, Inceptisoles y Mollisoles. Éste último es el que se encuentra ubicado en las áreas de estudios. Trata de suelos aluviales que conforman las mejores características edáficas del valle, ya que presentan perfiles profundos y bien desarrollados, de texturas medias a finas, generando un desarrollo radicular y retención de humedad efectiva. Es por esto por lo que en estos suelos se desarrolla la mayor parte de la agricultura de riego de la región (Ministerio de Obras Públicas, 2004).

De acuerdo con la flora terrestre de la zona, se permiten identificar dos unidades de vegetación que se encuentran ubicadas potencialmente en los fondos de valle de la sección alta del Aconcagua: Bosque espinoso abierto de algarrobo y espino, y Matorral espinoso de talhuén y espinillo, ambas unidades forman parte del tipo forestal esclerófilo. La primera unidad vegetacional está dominada por los árboles *Acacia caven* (espino) y *Prosopis chilensis* (algarrobo) y los arbustos *Proustia cuneifolia* (huañil), *Baccharis linearis* (romerillo) y *Schinus polígama* (huingán). La segunda unidad está compuesta mayoritariamente por los arbustos espinosos *Trevoa quinquinervia* (talhuén), *Adesmia confusa* (espinillo), *Schinus polígama*, *Colliguaja odorifera* (colliguay) y *Colliguaja integerrima* (duraznillo). (Quintanilla *et al.*, 2012).

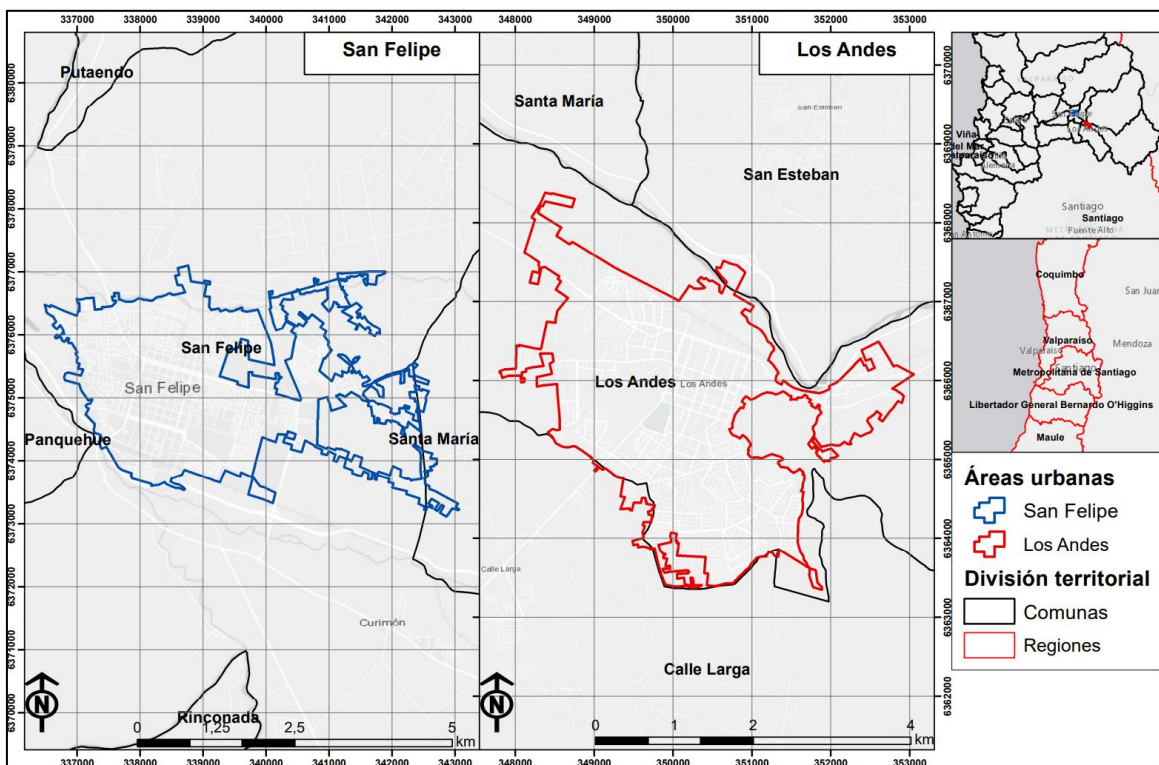
1.4.2. Características sociales

Las comunas de San Felipe y Los Andes se sitúan a 140 kilómetros, en promedio, del área metropolitana de Valparaíso, y a 85 kilómetros, en promedio, del área metropolitana de Santiago (ver tabla 6 y figura 5). Ambas son capitales cabeceras de sus provincias respectivas, y además forman parte de la macrozona central, integradas por su región de ubicación, más las regiones Metropolitana y de Libertador Bernardo O'Higgins, agrupando el 53% de la población nacional y el 50% del Producto Geográfico Bruto del país (Catán, 2013). En la macrozona central se concentra la mayor proporción de bienes y servicios, tanto a nivel nacional como internacional, a través del Paso fronterizo Los Libertadores, el Aeropuerto Internacional de Pudahuel y los terminales portuarios de San Antonio y Valparaíso.

Tabla 6: Tabla de distancias en kilómetros entre las áreas de estudios con las principales áreas metropolitanas de la macrozona centro

Tabla de distancias (km)	San Felipe	Los Andes	Santiago	Valparaíso
San Felipe	0	17	90	121
Los Andes	17	0	80	137
Santiago	90	80	0	121
Valparaíso	121	137	121	0

Figura 5: Área de estudio



Es necesario considerar la organización funcional de la región de Valparaíso y los roles que presentan las ciudades de estudio. En dirección este-oeste, la región se estructura geográficamente por el río Aconcagua y funcionalmente por la ruta CH 60, denominada también como camino internacional o corredor bioceánico. Las ciudades de estudios se emplazan en dicho eje geográfico y funcional, ubicado en la sección Alto Aconcagua⁸ (Catán, 2013).

⁸ Si bien es cierto, respecto a la planificación de las cuencas hidrográficas de la DGA, la mayoría de las comunas de las dos provincias, con excepción de Panquehue, Catemu y Llay-Llay, se ubican en la subcuenca Aconcagua (MOP, 2014). No obstante, al vincular la organización funcional con la hidrográfica, se definió que las provincias de San Felipe y Los Andes se ubican en la sección de “Alto Aconcagua” (Catán, 2013).

El desarrollo y actual configuración urbana de San Felipe y Los Andes se condicen con la definición de ciudades intermedias en redes, ya que a través de sus vialidades internas y externas se encuentran conectadas a otras localidades de carácter rural y a otras ciudades de mayor tamaño, tales como el Área Metropolitana de Santiago y el Área Metropolitana de Valparaíso. Ambas urbes de estudio poseen dimensiones medias en cuanto a población y mancha urbana, además prestan y proveen de servicios y equipamiento a las comunas aledañas (Catán, 2013).

San Felipe y Los Andes poseen una población total de 76.844 y 66.708 habitantes respectivamente, donde las sumas de ambas equivalen al 8% de la población regional. Su mayor crecimiento demográfico se experimentó durante el periodo intercensal 1970-1982, cuando la cantidad de habitantes de ambos municipios aumentó en una tasa promedio de 5,2% (INE, 2005). Posteriormente, las tasas de crecimiento demográfico se han ido ralentizándose, hasta el último periodo intercensal, donde ambas comunas tuvieron un incremento promedio de 1% (INE, 2022).

Los procesos de urbanización están estrechamente relacionados con las dinámicas de evolución y desarrollo demográfico (Catán, 2013). Carrasco (2003) afirma que Chile experimentó un brusco proceso de urbanización en un periodo corto de tiempo. En 1952, el 60% de la población chilena residía en ciudades, mientras que en Reino Unido era del 78%, Estados Unidos del 70% y Australia del 82%. Treinta años después, en 1982, la población urbana chilena escaló 22 puntos porcentuales, llegando al 82% del total, mientras que en Reino Unido era del 79% (+1), Estados Unidos del 74% (+4) y Australia del 86% (+2). Aquello generó alteraciones en la estructura del territorio, provocando expansiones urbanas carentes de planificación y control (Ciccolella, 1999). Durante el último periodo intercensal, los municipios de estudios aceleraron sus procesos de urbanización, alcanzando el 91% promedio de la población residiendo en áreas urbanas. Aquella cifra es superior a la media nacional (87,8%) (INE, 2022).

Las comunas de San Felipe y Los Andes se catalogan como ciudades intermedias debido a su tamaño físico, dimensiones geográficas y por las funciones articuladoras que emplean con respecto a ciudades y localidades menores aledañas a las capitales provinciales (Catán, 2013). Si bien es cierto, la distancia que separa entre las ciudades de San Felipe y Los Andes es de 17 kilómetros, ambas urbes *tejen* una red articuladora entre ellas y entre las principales áreas urbanas de las comunas de San Esteban, Calle Larga, Rinconada, Santa María, Putaendo y Panquehue, permitiendo prestaciones de equipamientos y de bienes y servicios, intercomunicándose con la capital regional y nacional mediante el conjunto de redes viales (Carrasco, 2003; Catán, 2013).

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo principal

Analizar el comportamiento y la distribución termal intraurbana y confort térmico ambiental, de las principales áreas urbanas de las comunas de San Felipe y Los Andes, Chile, durante el cuatrimestre de verano 2021-22 a través de estaciones de medición directa

1.5.2. Objetivos específicos

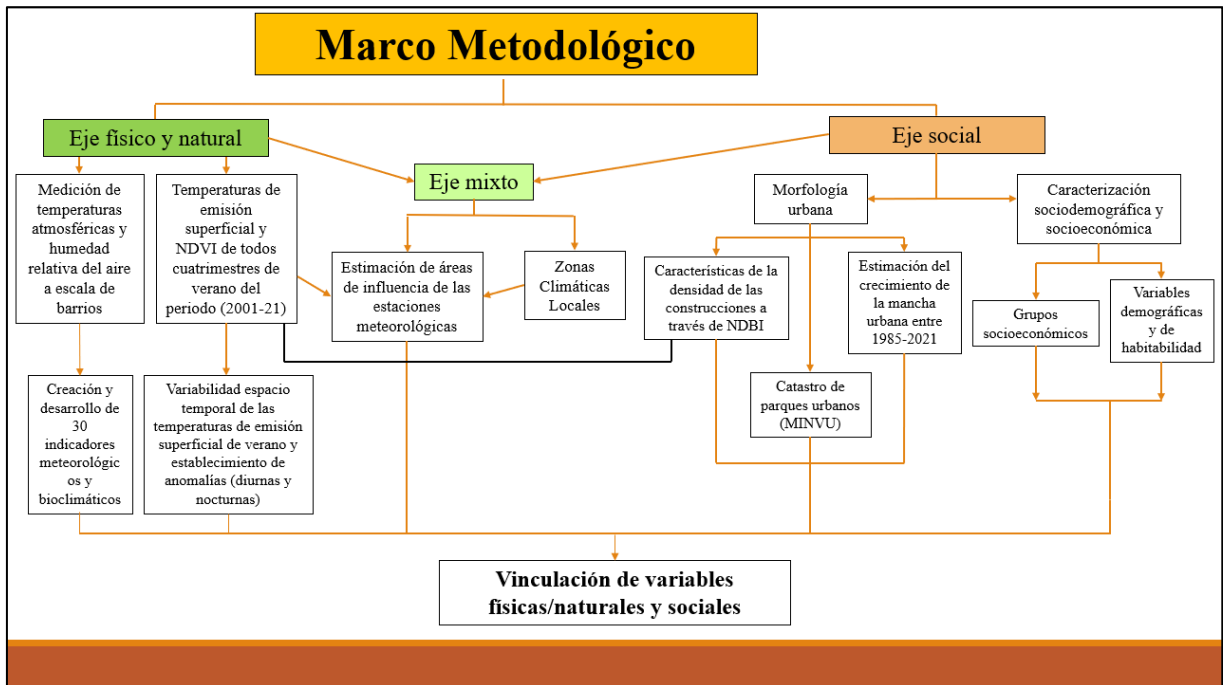
- Identificar los factores físicos, ambientales y urbanos que determinarían la distribución temporal y espacial de las temperaturas atmosféricas del área de estudio durante el cuatrimestre de verano 2021-22
- Analizar las relaciones entre los componentes demográficos y socioeconómicos de la población, con respecto a la distribución de las temperaturas y del confort térmico ambiental.
- Elaborar una línea de base de datos climáticos integrado a escala barrial

2. MARCO METODOLÓGICO

En función de los paradigmas de la investigación científica, es posible afirmar que la naturaleza paradigmática del presente trabajo investigativo es de tipo pospositiva dado a sus características metodológicas (Ramos, 2015). El tipo de corte aplicado en esta investigación es preferentemente de carácter cuantitativo, pero en parte, considera y ajusta variables de origen cualitativos, con el fin de cuantiar y zonificar dicha dimensión.

Se consideraron tres ejes temáticos en el trabajo: el físico y natural, el social y el mixto. Cada uno de ellos está compuesto por diferentes categorías. En la figura 6 se muestra el esquema conceptual del marco metodológico resumido, exhibiendo las relaciones temáticas abordadas.

Figura 6: Esquema conceptual del marco metodológico de trabajo



2.1. Eje físico y natural

En esta dimensión se analizarán las aristas asociadas a las características termales (atmosférica y superficial) y de calidad de vegetación de las dos áreas de estudio, con el fin de construir un eje que permita ser una línea de base con respecto a los principales elementos que determinarían su comportamiento (Sarricolea & Romero, 2010; Smith & Andrade, 2013; Sosa *et al.*, 2012; Picone, 2014; Williams, 2019).

2.1.1. Obtención de temperaturas de emisión superficial e índice normalizado de vegetación (NDVI) correspondientes a todos los cuatrimestres de verano (diciembre a marzo) pertenecientes al periodo 2001-2021, a través de las colecciones de imágenes satelitales procedentes del producto MODIS

Para el cálculo de los valores y distribución espacial de las temperaturas de emisión superficial, se elaboró una secuencia de comandos través del editor de códigos de la plataforma Google Earth Engine. Se utilizaron las colecciones de bandas del *Land Surface Temperature and Emissivity Daily Global – LST*, del producto MODIS provenientes de las variantes satelitales TERRA – MOD11A1.006 y AQUA – MYD11A1.006. Dichas colecciones se encuentran operativas desde hace más de veinte años con respecto a la fecha del escrito, en primer lugar el MOD11A1.006 con fecha de inicio el 24/02/2000, y en segundo el MYDA11.006 el 4/07/2002.

Tal como se mencionó en el párrafo anterior, la elaboración y obtención de imágenes se realizó mediante el editor de códigos del Google Earth Engine. Se inició con la definición del polígono, que corresponde a los límites superficiales de extracción de las imágenes, abarcando las áreas urbanas de San Felipe y Los Andes.

Con respecto a la colección de bandas, se utilizaron las de temperaturas de emisión superficial diurna (LST_Day_1km) y de emisión superficial nocturna (LST_Night_1km), posteriormente se empleó la fusión de las colecciones de las variantes TERRA y AQUA, a través de *merge*, para recolectar una mayor cobertura de datos térmicos.

Las fechas de extracción de datos se ajustaron en función del periodo de verano meteorológico y astronómico. Por lo tanto, y en cuanto a la determinación de fechas, el verano astronómico 2021-22 comenzó el 21 de diciembre del 2021 a las 12.59 hora chilena (15.59 hs. UTC) y finalizó el 20 de marzo del 2022 a las 15.33 hora chilena (18.33 hs. UTC) (Servicio de Hidrología Naval, 2022), mientras que, por otro lado, el verano meteorológico inició el 1 de diciembre del 2021 y se finalizó el 28 de febrero del 2022. En consecuencia de esto, se recurrió a cubrir y analizar de forma excepcional, los datos térmicos y de humedad del aire del mes de marzo, completando el ciclo de los cuatro meses de medición, y denominándose de esa forma como el *cuatrimestre de verano*.

Posteriormente, para obtener una imagen que contengan los valores de temperaturas de emisión superficial, se elaboró los promedios en dos secciones. La primera es el promedio por cuatrimestre de verano, y la segunda la media de todos los cuatrimestres de verano,

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

desde 2001 hasta 2021. Ambas secciones aplicadas en las bandas diurnas y nocturnas por separado. Por consiguiente, se generó la conversión de unidades de temperaturas, de Kelvin a grados Celsius, correspondiente al resultado de la banda (LST_Day_1km o LST_Night_1km) por la constante de escala (0,02), menos la constante de convertibilidad entre Kelvin y grados Celsius ($273,15^{\circ}\text{C} = 0\text{K}$).

Tras la definición del promedio, se establecieron los parámetros del sistema de referencia espacial del área de extracción. En lo cual, en este caso, se eligió el Sistema de coordenadas universal de Mercator, aplicado al Huso 19 Sur y ajustado al Sistema geodésico de coordenadas 1984 (abreviado al inglés como WGS84).

Como el producto nativo presenta un tamaño de celda de 1 km^2 , se aplicaron dos remuestreos, con interpolación bilinear. Se determinaron resoluciones consecutivas de 400 y 200 m^2 por pixel, respectivamente.

Para finalizar, se crearon los parámetros de creación de geometría de extracción y de exportación de imágenes, estableciendo los nombres y las localizaciones de los archivos de salida. En total, se elaboraron 46 imágenes, de las cuales 44 corresponden a los registros térmicos superficiales promedio por cuatrimestre (22 diurnas y 22 nocturnas), más dos el promedio de temperaturas de emisión superficial correspondiente a todos los cuatrimestres de verano.

Para conocer el estado de vigor de la vegetación, se hizo uso del Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), que consiste en la composición de las bandas rojo visible e infrarrojo cercano, permitiendo aprovechar la alta absorción de la primera y la fuerte reflectancia de la segunda (Manrique, 1999). Para su obtención se utilizaron las imágenes provenientes del satélite AQUA (MYD13Q1) del producto MODIS, ajustándose solamente a los periodos estivales, desde el cuatrimestre de verano 2002-03 hasta el verano 2021-22, elaborando una comparación entre promedio de los 19 veranos y el periodo estival 2021-22. Para este proceso se hizo uso mediante el editor de códigos del Google Earth Engine. Intrínsecamente, la fórmula de dicho indicador consta del cociente entre la resta del infrarrojo cercano y rojo visible, dividido por la suma de los mismos. Los pasos empleados en la generación del producto raster del NDVI fue similar con respecto a la elaboración de las imágenes de temperaturas de emisión superficial.

$$NDVI: (NIR - R)/(NIR + R)$$

2.1.2. Características técnicas y establecimiento de las estaciones o puntos fijos de medición de temperaturas y humedad relativa del aire

2.1.2.1. Descripción técnica del instrumento iButton

El instrumento de medición utilizado en este proyecto es el iButton. Es un dispositivo (Datalogger) que contiene un chip interno que permite poder registrar información asociada a las variables meteorológicas, correspondientes al ambiente en el cual se encuentra instalado. Este chip se ubica en un encapsulado de 16 milímetros de alto por 1 centímetro de diámetro, compuesto por acero inoxidable, lo que lo convierte en un instrumento autosuficiente (ver figura 7). Además, es muy resistente a las variaciones de humedad y temperatura, como también ante la suciedad y golpes (iButton, 2022).

Figura 7: iButton



El dispositivo en específico, instalado en todos los puntos de medición, corresponde al Hygrochron DS1923, es un termohigrómetro digital con resolución de 8-Bit (0,6% HR y 0,5°C) o 16-Bit (0,04% HR y 0,0625°C). Presenta un rango de funcionamiento determinado que oscila entre -20 a +85°C respecto a la temperatura y entre 0 a 100% de humedad relativa. Su chip posee una memoria interna con capacidad de 8kb, permitiendo almacenar los registros de temperaturas y humedad relativa del aire en formato 8 o 16-Bit. Cada iButton posee una dirección única (ID) tallada sobre el acero en el dorso inverso del mismo. Este ID posee alrededor de 16 caracteres (ver figura 8) y sirve como identificador para cada dispositivo.

Figura 8: Dorso inverso del iButton, el cual muestra el tipo (Hygrochron) y el ID



Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

Respecto al formato de lecturas, este amolda en función de la resolución y de la frecuencia establecida. Para este trabajo, se definió una resolución de 16-Bit con frecuencias de lecturas horarias, realizando un total de 2520 lecturas de datos, equivalentes a 105 días de medición de registros horarios. Posterior a la definición del periodo de extracción, se definieron dos jornadas de descargas: la jornada intermedia, efectuada en la quincena de enero 2022, y la jornada final, realizada durante la primera semana de abril del mismo año.

2.1.2.2. Criterios de elección de puntos de medición. Adquisición de instrumentos y toma de registros.

Las comunas de San Felipe y Los Andes, específicamente sus principales y mayores áreas urbanas, presentan características naturales, ambientales, urbanas, políticas, sociales, económicas, y culturales semejantes (Catán, 2013). Por lo tanto, se establecieron cinco criterios de elección de puntos de medición. En primer lugar, se consideraron los valores promedios de temperaturas de emisión superficial correspondientes a los cuatrimestres de verano del periodo 2001-2022, elaboradas a través del procesamiento de imágenes de los satélites TERRA y AQUA del producto MODIS. En segundo lugar, la clasificación de las Zonas Climáticas Locales (ZCL), elaboradas en base a lo establecido por Stewart & Oke (2012). En tercero la densidad poblacional por manzana censal, calculados por el último Censo Nacional de Población del año 2017. En cuarto lugar, la composición de los grupos socioeconómicos por manzana censal, construida por Entel (2021). Y por último, en el quinto lugar se consideraron las ubicaciones de las estaciones meteorológicas activas y ubicadas dentro de los principales núcleos urbanos de las ciudades de estudio, revocando la creación de una posible zona potencial de medición cercanas a las ubicaciones de estas.

Actualmente, se encuentran operativas dos estaciones meteorológicas automáticas en las principales áreas urbanas de San Felipe y Los Andes. Respecto al margen de antigüedad, la estación Escuela Agrícola de San Felipe (código BNA⁹ 05410008-6) (Ministerio de Obras Públicas, 2013) es la más antigua de las dos. Se creó el 1 de abril de 1962 bajo el alero de la Dirección General de Aguas y se encuentra ubicada en el núcleo urbano principal de la comuna de San Felipe, específicamente a 1,7 kilómetros del centro homónimo (Dirección General de Aguas, 2022). En cuanto a su bitácora histórica, desde sus inicios la estación realizaba mediciones asociadas a las variables pluviométricas (total de agua caída diaria e índice de sequía estandarizada). Desde el año 1981, a veinte años de su creación, comenzó a implementar mediciones de temperatura, presión y viento. En el año 2012, la Dirección Meteorológica de Chile tomó parte de la propiedad de la estación, impulsando registros derivadas de humedad relativa del aire y diversificando nuevos indicadores relacionados con las otras variables meteorológicas mencionadas (Dirección Meteorológica de Chile, 2022).

⁹ Banco Nacional de Aguas

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

Por otro lado, en la ciudad de Los Andes se ubica una estación perteneciente a la red Sistema de Información Nacional de la Calidad del Aire (SINCA), cuyo propietario es Ministerio del Medio Ambiente y su operador es la empresa privada Algoritmos y soluciones ambientales SpA. Esta estación fue creada el 1 de noviembre de 2007, con el objetivo principal de registrar mediciones vinculadas con los parámetros de contaminantes y estado de calidad del aire. Respecto a las mediciones de variables meteorológicas, desde su creación se ha tomado registros vinculados a la velocidad y dirección del viento, posteriormente, en 2009, se comenzó con las mediciones asociadas a temperaturas y humedad relativa del aire (Sistema de Información Nacional de la Calidad del Aire, 2022).

Se definieron 10 zonas potenciales de medición, 5 ubicadas en cada ciudad de estudio y construidas en base a los cinco criterios establecidos (ver tabla 7).

Tabla 7: Zonas potenciales de medición

San Felipe		Los Andes	
ZPa	Nombre	ZPb	Nombre
ZP1a	El Almendral	ZP1b	Camino a San Rafael
ZP2a	Los Dinosaurios	ZP2b	Los Andes Oeste
ZP3a	San Felipe Sur	ZP3b	Avenida Húmeres
ZP4a	Avenida Encon	ZP4b	Los Andes Centro
ZP5a	San Felipe Centro	ZP5b	Coquimbito
EMA1a	Escuela Agrícola	EMA1b	SINCA

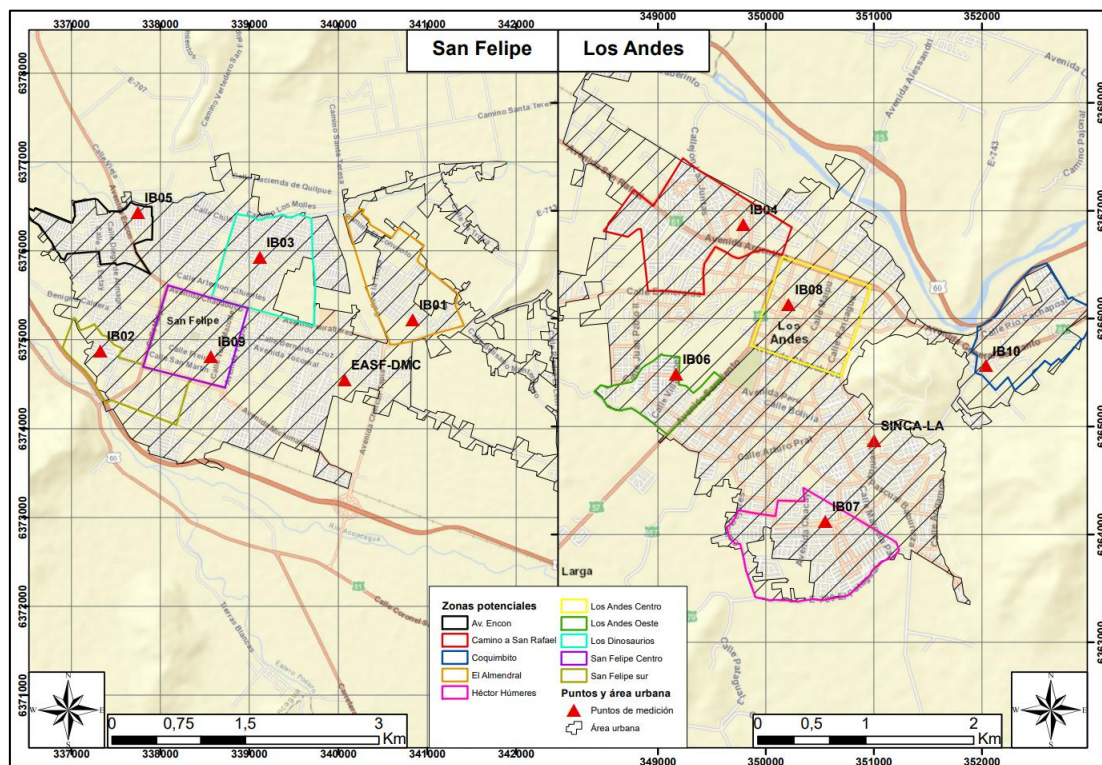
Previo a la adquisición de los 10 iButton, se gestionaron los acuerdos de instalación en las zonas ZP5a (colegio municipal), ZP4b (Municipalidad de Los Andes) y ZP5b (Regimiento militar 3 Yungay).

El día 23 de noviembre del 2021 se receptaron los 10 iButton destinados a registrar las mediciones de las áreas de estudio. Posterior a ello se emplearon dos salidas de terreno para la instalación de los dispositivos, la primera efectuada entre los días 26 y 28 de noviembre (ZP1a – ZP4a en San Felipe y ZP1b – ZP3b en Los Andes), y la segunda entre el 30 de noviembre y 1 de diciembre del 2021 (ZP5a, ZP4b y ZP5b). En la tabla 8 se muestra el resumen general de los fichados de instalación, manteniendo la confidencialidad de las/os contactos. En ella se especifican el Id del iButton, el código (en orden cronológico de instalación), el tipo de domicilio, la comuna, la zona potencial, las coordenadas (UTM), la altitud (msnm.), los valores de temperaturas de emisión superficial promedio, diurnos y nocturnos, de todos los cuatrimestres de verano correspondientes al periodo 2001-2021, la densidad poblacional, la zona climática local y los grupos socioeconómicos. Además, dentro del análisis del trabajo se vincularán los registros de temperatura y humedad relativa medidos en las estaciones meteorológicas urbanas activas (ver tabla 8 e figura 9). Los diez iButton fueron instalados bajo sombra vegetal a 1,5 metros del suelo, tal como se muestran en el compilado de fotografías expuestas en la figura 10.

Tabla 8: Resumen general de las fichas de instalación de los iButton¹⁰

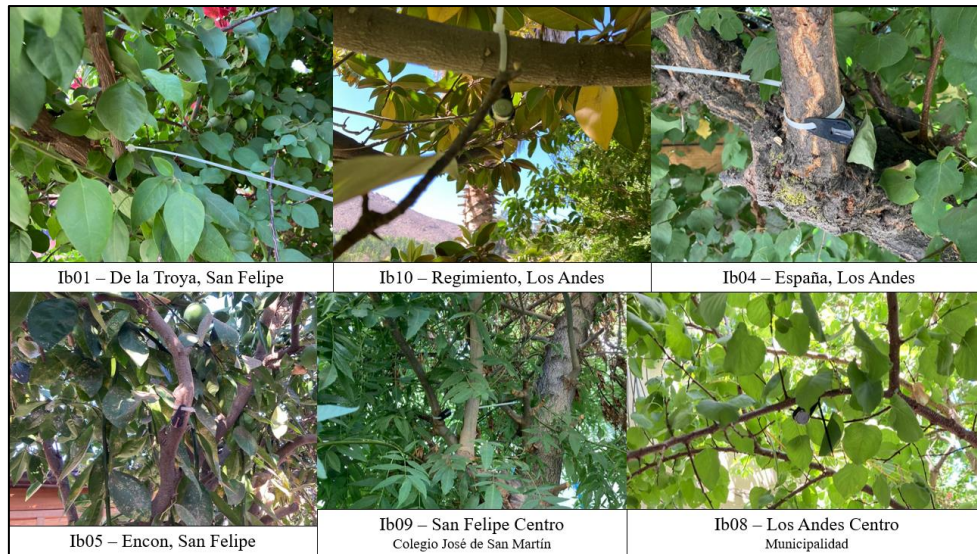
Id	Código	Tipo	Comuna	Nombre	ZP	Norte	Este	Altitud	Pob. Potencial
7C7492BE41	Ib01	Vivienda particular	San Felipe	La Troya	ZP1a	6375230	340837	667	1941
98748D4941	Ib02	Vivienda particular	San Felipe	Villa Yevide	ZP3a	6374871	337325	630	3147
AA748DEB41	Ib03	Vivienda particular	San Felipe	Yungay Nte.	ZP2a	6375932	339117	647	3440
24748A7941	Ib04	Vivienda particular	Los Andes	España	ZP1b	6366875	349791	816	3249
FF748D8241	Ib05	Vivienda particular	San Felipe	Encon	ZP4a	6376437	337750	633	2375
A9693AB241	Ib06	Vivienda particular	Los Andes	Juan Pablo II	ZP2b	6365485	349169	806	3322
B16935E141	Ib07	Vivienda particular	Los Andes	Húmeres	ZP3b	6364120	350551	819	5271
A8748DE841	Ib08	Municipalidad	Los Andes	Los Andes Centro	ZP4b	6366129	350210	824	1388
EC748AC341	Ib09	Colegio	San Felipe	San Felipe Centro	ZP5a	6374811	338567	648	969
C9748B5041	Ib10	Regimiento Militar	Los Andes	Regimiento	ZP5b	6365564	352038	849	2163

Figura 9: Ubicación de zonas potenciales y puntos de medición



¹⁰ Se estimó la población potencial bajo un área de influencia de 300 metros de radio por punto de medición (Houet *et al.*, 2011; Hidalgo & Jouglá, 2018).

Figura 10: Fotografías de seis de los diez iButton instalados



2.1.3. Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental: Estimación de indicadores meteorológicos, biometeorológicos e interpolación de datos.

Los indicadores meteorológicos y biometeorológicos corresponden al grupo de índices que agrupan los derivados de las variables simplistas de temperatura y humedad (Henríquez *et al.*, 2020), y conjuntas en las variables empíricas de la percepción térmica (Barcia *et al.*, 2020). La creación y generación de los indicadores tiene como finalidad visualizar, cuantificar y espacializar los principales impactos empíricos vinculados con el calor extremo y el disconfort térmico ambiental en las áreas urbanas de estudio (Fuentealba, 2019).

Se elaboraron un total de 30 indicadores, de los cuales 23 corresponden a las variables meteorológicas (20 de temperaturas y 3 de humedad), y 7 corresponden a variables biometeorológicas, vinculadas al cálculo del índice HUMIDEX para el análisis del disconfort térmico ambiental (Picone & Campo, 2016; Henríquez *et al.*, 2019) (ver tabla 9). Todos los indicadores fueron calculados para cada uno de los puntos de medición y estaciones meteorológicas establecidas, a escalas de tiempo horaria, diaria, mensual y cuatrimestral.

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

Tabla 9: Indicadores meteorológicos y biometeorológicos de estudio.

#	Indicadores meteorológicos y biometeorológicos	Definición	Unidad de medida	#	Indicadores meteorológicos y biometeorológicos	Definición	Unidad de medida
1	TMc	Temperatura media cuatrimestral (media climatológica)	°C	16	Uhs>35	Cantidad de horas mensuales con temperaturas mayores y/o iguales a 35°C	Horas y porcentaje
2	TMm	Temperatura media mensual (media climatológica)	°C	17	UODC	Umbral de olas de calor y periodos cálidos	Días
3	TMmax_m	Temperatura media máxima mensual	°C	18	NF	Noches frías (NF): Porcentaje de días donde la temperatura mínima diaria es inferior al percentil 10 mensual	Días
4	TMmin_m	Temperatura media mínima mensual	°C	19	NC	Noches cálidas (NC): Noches cuyas temperaturas mínimas son iguales o superiores al percentil 90 mensual	Días
5	Tdm	Temperaturas medias diarias	°C	20	NT	Noches tropicales (NT): Temperaturas iguales o superiores a los 20°C en al menos el 40% de las horas nocturnas	Días y porcentaje
6	Tdmax	Temperaturas máximas diarias	°C	21	HRMc	Humedad relativa del aire media cuatrimestral (media climatológica)	Porcentaje
7	Tdmin	Temperaturas mínimas diarias	°C	22	HRMm	Humedad relativa del aire media mensual (media climatológica)	Porcentaje
8	Tmhs	Temperaturas medias horarias mensuales	°C	23	HRMhs	Humedad relativa media horaria mensual	Porcentaje
9	T>UoDc	Días con temperaturas superior al Umbral diario apilado (metodología DMC)	Días y porcentaje	24	HUMIDEX_hs	Estimación del valor de Humidex horario	Grados HUMIDEX
10	Tmax <30	Temperaturas máximas diarias inferiores a 30°C	Días y porcentaje	25	HUMIDEX_PD	Promedio diario de HUMIDEX	Grados HUMIDEX
11	Tmax [30 - 32,5)	Temperaturas máximas diarias ubicadas entre los 30 y 32,44°C	Días y porcentaje	26	HUMIDEX_M	Promedio mensual de HUMIDEX	Grados HUMIDEX
12	Tmax [32,5 - 35)	Temperaturas máximas diarias ubicadas entre los 32,5 y 34,94°C	Días y porcentaje	27	HUMIDEX_Diu	Promedio diario de HUMIDEX durante las horas diurnas	Grados HUMIDEX
13	Tmax >35	Temperaturas máximas superiores o iguales a 35°C	Días y porcentaje	28	HUMIDEX_C	Cantidad de horas confortables	Porcentaje
14	Uhs>30	Cantidad de horas mensuales con temperaturas mayores y/o iguales a 30°C	Horas y porcentaje	29	HUMIDEX_Ad	Cantidad de horas con algún discomfort	Porcentaje
15	Uhs>32,5	Cantidad de horas mensuales con temperaturas mayores y/o iguales a 32,5°C	Horas y porcentaje	30	HUMIDEX_Gd	Cantidad de horas de gran discomfort	Porcentaje

Para estudiar la distribución espacial y variabilidad temporal de las temperaturas atmosféricas, se hará uso del método de interpolación de distancia inversa ponderada (IDW) a través del software ArcGIS Pro. Este método permite calcular el valor de una celda promediando los valores datos establecidos, tales como los puntos de medición y estaciones. Por ende, existe un mayor peso mientras más cerca se encuentre del punto de datos, y una menor ponderación a medida se aleja del mismo (Letelier, 2020).

2.2. Eje mixto

Romero *et al.*, (2010) afirma, en resumen, que la climatología urbana se puede entender y estudiar como una construcción social de la misma, integrándola como una problemática abordada por la geografía ambiental. Esto no niega las bases y disciplinas tradicionales que estudian esta materia.











Por lo tanto, para el abordaje de este estudio es necesario integrar los matices que permiten vincular los ejes físicos/naturales y sociales. El eje mixto es construido tras una interpretación de esta integración, y es por ello por lo que se han definido los sub ítems 2.2.1 y 2.2.2 descritos a continuación.

2.2.1. Zonas climáticas locales








Las zonas climáticas locales están definidas como regiones de distribución uniforme de temperaturas atmosféricas y superficiales a escalas horizontales de 100 a 10000 metros. Cada ZCL exhibe una geometría característica (geometría construida) y cobertura terrestre que representa o genera un clima único, bajo un contexto de estados atmosféricos calmos y/o estables y cielos despejados (Stewart & Oke, 2010). Por lo tanto, en función de esos criterios mencionados, se construyeron las clasificaciones de las Zonas Climáticas Locales en las áreas urbanas de San Felipe y Los Andes.

Esta clasificación se plantea en función de ciertos parámetros comunes, como la cobertura del suelo, estructura del área y usos de suelo. De esta forma se obtienen 17 clases divididas en 2 tipos: Tipos de edificación (10) y tipos de cobertura (7) (ver tabla 10)

Tabla 10: Descripciones generales de las Zonas climáticas locales

Tipo de edificación	Definición	Tipos de cobertura	Definición
 <p>ZCL 1: Compacto de gran altura</p>	<p>Edificación densa de edificios de más de 10 plantas. Pocos árboles. Pavimentado. Materiales de construcción: concreto, hierro, roca y vidrio.</p>	 <p>ZCL A: Bosque / arbolado denso</p>	<p>Densamente arbolado por especies perennes y/o caducifolias. Cubiertas previas en su mayoría (plantas bajas). Zonas de bosques, actividad forestal y/o parques urbanos</p>
 <p>ZCL 2: Compacto de mediana altura</p>	<p>Edificación densa de mediana altura (3 a 9 plantas). Pocos árboles. Pavimentado. Materiales de construcción: concreto, ladrillos, roca y cerámica.</p>	 <p>ZCL B: Árboles dispersos</p>	<p>Arbolado disperso de especies caducifolias y/o perennes. Cubiertas previas en su mayoría (plantas bajas). Zonas de bosques, actividad forestal o parques urbanos.</p>
 <p>ZCL 3: Compacto de baja altura</p>	<p>Edificación densa de baja altura (1 a 3 plantas). Pocos árboles. Pavimentado. Materiales de construcción: concreto, ladrillos, roca y cerámica</p>	 <p>ZCL C: Arbustos</p>	<p>Arbustos, matas y árboles leñosos bajos dispersos. Cubiertas previas en su mayoría (suelos desnudos o arena). Zonas de matorrales y/o agricultura.</p>
 <p>ZCL 4: Abierto de alta altura</p>	<p>Edificios de más de 10 pisos separados. Abundancia de coberturas previas (plantas bajas y algunos árboles). Materiales de construcción: concreto, hierro, roca y vidrio.</p>	 <p>ZCL D: Plantas bajas</p>	<p>Paisajes dominados por cultivos, plantas bajas y/o césped. Pocos árboles. Zonas de parques urbanos o de actividad agrícola.</p>
 <p>ZCL 5: Abierto de mediana altura</p>	<p>Edificios de mediana altura (3 a 9 pisos) separados. Abundancia de coberturas previas (plantas bajas y algunos árboles). Materiales de construcción: concreto, hierro, roca y vidrio.</p>	 <p>ZCL E: Rocas o pavimentos</p>	<p>Paisajes de rocas o zonas pavimentadas. Pocos árboles. Zonas de rocosas o playas de estacionamiento.</p>

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

<p>ZCL 6: Abierto de baja altura</p> 	<p>Edificios de baja altura (1 a 3 pisos) separados. Abundancia de coberturas previas (plantas bajas y algunos árboles). Materiales de construcción: madera, concreto, ladrillos, roca y cerámica</p>	<p>ZCL F: Suelo descubierto o pavimento</p> 	<p>Áreas de cobertura con arena o suelo descubierto. Poca cubierta vegetal. Zonas de desiertos o de agricultura (luego de la cosecha)</p>
<p>ZCL 7: Construcciones bajas</p> 	<p>Densa edificación de un piso. Pocos árboles. Tierra compactada. Materiales de construcción livianos: madera, metal corrugado y paja.</p>	<p>ZCL G: Cuerpos de agua</p> 	<p>Cuerpos de agua libres como mares o lagos. O pequeñas áreas como ríos, reservorios y lagunas.</p>
<p>ZCL 8: Grandes construcciones bajas</p> 	<p>Grandes edificaciones bajas (1 a 3 pisos) separadas. Pocos árboles. Pavimento. Materiales de construcción: hierro, concreto, metal y roca.</p>	<p>Variaciones de las coberturas Están condicionadas por las prácticas agrícolas, ciclos estacionales y/o condiciones climáticas</p>	
<p>ZCL 9: Construcciones dispersas</p> 	<p>Construcciones pequeñas o medianas dispersas en áreas naturales. Abundancia de las coberturas previas (plantas bajas, arboles dispersos)</p>	<p>b. árboles desnudos</p>	<p>Árboles caducifolios (invierno). Incrementan la visión del cielo. Reducen el albedo.</p>
		<p>c. coberturas de nieve</p>	<p>Más de 10 cm de nieve. Aumenta el albedo. Disminuye el ingreso de energía.</p>
<p>ZCL 10: Áreas industriales</p> 	<p>Edificios industriales de baja y media altura (chimeneas y tanques). Pocos árboles, Pavimento o tierra compactada. Materiales de construcción: metal, hierro y concreto.</p>	<p>d. suelo seco</p>	<p>Disminuye el ingreso de energía. Aumenta el albedo. Gran ratio de Bowen.</p>
		<p>w. suelo húmedo</p>	<p>Suelo muy húmedo. Aumenta el ingreso de energía. Disminuye el albedo. Bajo ratio de Bowen.</p>

Fuente: Stewart & Oke (2012), modificado por Picone (2014)

Las zonas se diferencian por las propiedades de la superficie que influyen directamente en la temperatura atmosférica de altura de dosel o de edificio, como la fracción vegetal, la altura y el espacio entre edificios/árboles, la humedad del suelo y el flujo de calor antropogénico (Stewart & Oke, 2010). Si bien el sistema de clasificación ZCL es teóricamente sólido en su división del paisaje. Según las propiedades climáticas de la superficie tiene poca evidencia empírica para respaldar dicha división (Stewart & Oke, 2010). Es difícil elaborar una adaptación mundial del sistema de clasificación ZCL, debido a los diferentes procesos de urbanización experimentados en las diferentes ciudades del planeta (Picone, 2014).

2.2.2. Establecimiento de áreas de influencia de los puntos de medición y estaciones meteorológicas

Las ciudades de San Felipe y Los Andes han experimentado importantes crecimientos en sus áreas urbanas durante los últimos cuarenta años, la cual cuya evolución ha ido replicando a la par de las dinámicas de desarrollo urbano experimentadas en las grandes urbes, como lo son el surgimiento de problemas ambientales, la segregación espacial y los procesos de periurbanización (Catán, 2013; Maturana, 2015). Es por ello por lo que a medida que las urbes se vuelven más grandes y densas, es necesario saber cuál es el patrón que involucra los comportamientos socioambientales y evaluar los impactos potenciales (Bernard *et al.*, 2017), como, por ejemplo, verificar cuales son los barrios socialmente más deprimidos y vincular con los valores térmicos que se presentan en ellos (Romero *et al.*, 2010).

Oke (2010) afirma que uno de los principales problemas metodológicos que se han visto en diferentes trabajos de climatología urbana, es la de elaborar una caracterización y análisis climático completo del área de estudio, afirmando en su revisión crítica de 190 trabajos de ICU empleados entre 1950 y 2007, el 37% “no lograron realizar suficientes observaciones para cumplir con sus objetivos declarados”, y el 45% “no consiguió estimar de forma correcta la magnitud de la ICU”.

Durante un día, rara vez las temperaturas del aire dentro de una ciudad son homogéneas, y *tienden a serlo* en condiciones meteorológicas inestables (Picone, 2014). Por lo tanto, en función a lo anterior y acompañado de lo que establece Bernard *et al.* (2017), es complejo construir un modelo empírico que permita explicar, de forma acabada, los comportamientos térmicos temporales y espaciales en el interior de una ciudad, y aquello está asociado a las dificultades propias del modelo numérico, como también de las propiedades físicas del área de interés (ej.: dinámica de fluidos y balances energéticos como lo son la radiación, la convección y la conducción).

Estimar el área de influencia de una estación meteorológica y/o de un punto de medición dentro de un sector o barrio al interior de una ciudad es complejo (Bernard *et al.*, 2017). Picone (2014) afirma que dicha dificultad se acentúa en las diferentes urbes latinoamericanas debido las heterogeneidades en los tipos y densidades de construcción. Sin embargo, Hidalgo & Jouglá (2018) estima que, considerando las complejidades antes descritas, es importante elaborar caracterizaciones previas que identifique las pluralidades meteorológicas de una zona climática, permite proporcionar información robusta acerca del contexto climático genérico de un área urbana de estudio. Dicha afirmación está asociada a lo afirmado por Oke (2012), y la razón de la misma viene vinculada a la ventaja que esta entrega, ya que cambiar el discurso teórico que pasa de un estado climático medio típicamente impulsado por indicadores climáticos clásicos a uno basado en escalas temporales meteorológicas más cortas. Estos son más intuitivos y útiles para la producción y comunicación científica en estudios de impacto relacionados, como por

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

ejemplo con la salud humana, el consumo de energía en residencias o las pautas de planificación urbana, siendo actualmente muy activos (Hidalgo & Jougla, 2018).

Bernard *et al.*, (2017) afirma que, de manera arbitraria, que la base máxima de influencia que puede tener una estación meteorológica urbana, o un punto de medición, debe tener a lo más 500 metros de radio. Sin embargo, el mismo autor asume que la definición de dicha superficie de influencia es muy susceptible a ser inefectiva. La razón de esto viene debido a la heterogeneidad de las propiedades físicas y químicas que pueden presentar las capas atmosféricas a microescala. Por otro lado, se ha establecido que un área de influencia de 200 metros de radio permite estimar, con mayor precisión, el comportamiento “colectivo” de capa de aire a microescala, ya que demostró una menor diferencia entre la temperatura estimada y la observada.

Houet (2011) e Hidalgo (2018) estimaron mediante la experimentación de áreas de influencia 100, 300 y 500 metros de radio, la que tuvo mayor precisión fue la de 300 metros de radio. A pesar de ello, y reiterando lo mencionado previamente, la determinación de las áreas de influencias depende muchísimo del contexto geográfico del área de estudio, por lo que acordar una estimación global es complejo, y es en parte el desafío a futuro en el desarrollo teórico y práctico de los estudios de climatología urbana. Por lo tanto, se estimó arbitrariamente un área de influencia de 300 metros de radio, ya que, en función de las limitaciones, en este trabajo es necesario abarcar la mayor cantidad, no exagerada, de superficie de interés.

2.3. Eje social

2.3.1. Caracterización sociodemográfica y socioeconómica

Las características sociodemográficas y socioeconómicas de las áreas de estudios se abordaron en conjunto, a través del procesamiento los microdatos censales, elaborados por el último Censo Nacional de Población y Vivienda del año 2017, y de la caracterización de los grupos socioeconómicos realizados por Entel en 2021.

2.3.1.1. Aspectos sociodemográficos

Para conocer las dinámicas demográficas de las áreas de estudio, se recurrieron a la base de los microdatos a nivel de manzana censal, elaboradas por el último Censo del año 2017. En él se extrajeron las informaciones asociadas a la población total por manzana, a la población por género, habitantes por rango etario, habitantes que se consideran procedentes de alguna etnia o pueblo originario y habitantes migrantes que residan en el territorio nacional.

Se abordaron las dinámicas demográficas mediante las caracterizaciones de las dos comunas de estudio, para posteriormente estudiar las variables a nivel de manzanas censales, con el objetivo de visualizar la variabilidad de estas dinámicas en los diferentes conjuntos de barrio de ambas ciudades.

2.3.1.2. Aspectos socioeconómicos

Con respecto a las características socioeconómicas de la población, se estudió la distribución espacial de los grupos socioeconómicos (GSE), a nivel de manzana censal, elaborados por Entel en 2021. Además, para conocer la variabilidad temporal y territorial de los GSE, se compararon aquellos valores del 2021 con los de la clasificación realizada en 2012 por Adimark.

2.3.2. Características de la morfología urbana

2.3.2.1. Catastro Parques Urbanos MINVU

Las áreas verdes urbanas (AVU en adelante) constituyen como elementos fundamentales para el bienestar de la población urbana debido a las múltiples funciones sociales y ambientales/ecológicas que estas presentan (Reyes & Figueroa, 2010; Centro UC Políticas Públicas, 2017).

Producto de la urbanización explosiva y precaria experimentada en las grandes ciudades del país durante la segunda mitad del siglo XX, y en especial en los últimos veinticinco años en las ciudades intermedias como San Felipe y Los Andes, las cantidades y distribución de los espacios verdes públicos son escasos (Figueroa & Reyes, 2010). El indicador más para estimar la proporción de AVU por habitantes de una unidad territorial y administrativa determinada es la cantidad de metros cuadrados de áreas verdes por habitante. Sin embargo, este indicador no otorga información asociada respecto a la accesibilidad y a la distribución de las áreas verdes. Por lo tanto, para complementar aquello, se ha empleado el indicador de accesibilidad de áreas verdes, que contempla una distancia máxima establecida que la población puede acceder a ciertos espacios verdes públicos y/o privados de determinado tamaño (Figueroa & Reyes, 2010; Centro UC Políticas Públicas, 2019). Para el presente trabajo se estimarán ambos indicadores, calculados a nivel de ciudad y a nivel de distrito censal, con el fin de conocer la proporción y distribución de áreas verdes dentro de las áreas urbanas, y también de comparar los valores entregados por ambos indicadores.

2.3.2.2. Estimación del crecimiento de las manchas urbanas

La metodología para estimar el crecimiento de las manchas urbanas se elaboró mediante fotointerpretación, a través de la utilización de una imagen de falso color que proviene de la combinación de las bandas 7, 5 y 3 de Landsat 4-5 y 7, y de las bandas 7, 6 y 4 del Landsat 8. Se calcularon los tamaños geométricos de las superficies urbanas correspondientes a los años 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 y 2021, donde además se evaluó la tasa de crecimiento anual, aplicando la siguiente fórmula empleada por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) y el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) en 2018.

$$[(a_i/a_f)^{(1/n)} - 1]$$

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

ai: año inicial

af: año final

n: cantidad total de años correspondiente al periodo

2.3.2.3. Análisis de la densidad de las edificaciones mediante el índice estandarizado de diferencia construida (NDBI)

La elaboración del índice NDBI se realizó mediante el cálculo de las bandas 11 (SWIR) y 8 (infrarrojo cercano), procedentes del producto Sentinel-2 (Montealegre *et al.*, 2021). La ecuación aplicada es la siguiente:

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

Los valores entregados del indicador oscilarán entre -1 y 1, donde las cifras negativas indicarán mayor presencia y/o densidad vegetal, mientras que los valores positivos mostrarán las áreas de mayor edificación concentrada (Rosell & Vicente, 2016). Para distinguir la variabilidad espacial de la densidad construida, se realizarán estimaciones de las proporciones de las edificaciones por distrito censal.

3. RESULTADOS

3.1. Comportamiento térmico urbano de las ciudades de San Felipe y Los Andes

3.1.1. Análisis del estudio de la Isla de Calor Urbana superficial de los veranos correspondientes al periodo 2001-02 y 2021-22 de las ciudades de San Felipe y Los Andes

3.1.1.1. ICUs de verano de la ciudad de San Felipe

La distribución espacial de la temperatura de emisión superficial de verano muestra patrones semejantes entre el día y la noche. Respecto a las áreas cálidas, estas se ubican en las partes suroccidental y centro de la ciudad, registrando valores diurnos y nocturnos que superan los 42 y 16°C, respectivamente. Por otro lado, las áreas frescas se emplazan en las zonas norte y este la ciudad de San Felipe (ver cartografía en anexo 1).

En cuanto a la evolución temporal, se puede apreciar que las temperaturas diurnas se han incrementado durante los últimos 21 años de medición, pasando de los 38°C entre los veranos de los años 2001 y 2005, hasta los 41,8°C entre los veranos de los años del 2016 y 2021, presentando un coeficiente de correlación promedio de 0,86. En contraparte, la variabilidad de las temperaturas superficiales nocturnas exhiben un comportamiento más estable, el cual no permite establecer una relación entre el aumento de los valores térmicos con respecto a los años.

Los puntos de San Felipe Centro y Villa Yevide, ubicados en el sector central y suroccidental de la ciudad, son los que registran los mayores valores de temperatura de emisión superficial, con promedios diurnos de 41 y 40,7°C, respectivamente, y promedios nocturnos de 16,5 y 16,6°C, cada uno. En contraparte, la zona del puente Encon, ubicada en el norte del área urbana, presenta las menores temperaturas de emisión superficial diurnas y nocturnas durante el periodo de verano (ver tabla 11).

Las intensidades de las ICUs son mayores durante las horas diurnas. En San Felipe, la intensidad de la isla de calor urbana de superficie alcanza 5,4°C en verano, mientras que en invierno desciende a 2,2°C. Villa Yevide es el punto que registra las mayores intensidades de ICUs diurnas y nocturnas, con cifras aproximadas de 4,7 y 1,9°C, respectivamente, a diferencia de Encon, que es el punto de menores diferencias con valores diurnos de 2°C y nocturnos de 0,7°C.

Respecto a la variabilidad temporal de temperaturas, tal como se mencionó en el primer párrafo de este sub-sub ítem, se puede afirmar que los valores térmicos diurnos se han ido incrementando durante los 22 veranos de medición, donde los coeficientes de correlación de todos los puntos poseen cifras superiores a 0,8, siendo mayor en Villa Yevide con 0,91. En cuanto a las temperaturas de emisión superficial nocturnas, no se evidencia un aumento de los valores de las mismas, viéndose demostrado a través de las bajas cifras en los coeficientes de correlación y coeficientes de determinación (R^2) (ver tabla 11).

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

Además, aquella variabilidad temporal la podemos explicar a través de las anomalías de las temperaturas de los últimos 22 cuatrimestres de verano. Respecto a las temperaturas nocturnas, estas han ido aumentando muy levemente durante la segunda mitad del periodo, sin embargo, y tal como se mencionó anteriormente, no se puede establecer una relación entre al aumento de los valores térmicos y los años. Por otro lado, las temperaturas diurnas han ido en aumento durante estos 22 veranos, ya que en promedio entre 9 a 10 desde 2012 han sido veranos de anomalías positivas, siendo el verano del 2020 el que registro la mayor cifra con diferencias promedio que bordearon los 4°C. En las tablas de los anexos 2 y 3 se muestran anomalías de temperaturas de emisión superficial, nocturnas y diurnas de cada verano con respecto al promedio del periodo.

Tabla 11: Resumen estadístico general de las temperaturas de emisión superficial de verano en San Felipe.

Nombre	T(°C) superficial diurnas				T(°C) superficial nocturnas			
	Promedio	Intensidad ICUs	Coef. Correl.	R2	Promedio	Intensidad ICUs	Coef. Correl.	R2
La Troya	39,08	2,93	0,852	72,5%	15,96	1,36	0,086	0,7%
Yungay Norte	38,97	2,31	0,833	69,4%	15,99	1,26	-0,043	0,2%
Villa Yevide	40,71	4,72	0,905	81,9%	16,64	1,97	0,172	3,0%
Encon	37,09	2,03	0,826	68,2%	15,38	0,74	-0,003	0,0%
San Felipe Centro	41,03	4,43	0,877	76,9%	16,48	1,81	0,100	1,0%
Escuela Agrícola	40,42	3,70	0,853	72,7%	16,23	1,56	0,038	0,1%

3.1.1.2. ICUs de verano de la ciudad de Los Andes

En la ciudad de Los Andes se identifica un patrón similar entre la distribución de temperaturas diurnas y nocturnas. Durante las horas diurnas se aprecia que la zona oeste de la ciudad es más fresca respecto al centro y al este, siendo esta última área la más cálida, registrando temperaturas de emisión superficial que superan levemente los 40°C. Por otro lado, durante las horas nocturnas se aprecia un enfriamiento en las áreas emplazadas en el sur de Los Andes, colindando con la comuna de Calle Larga. Por último, en las horas nocturnas presentan temperaturas que oscilan entre los 14 y los 16°C. En comparación con la ciudad de San Felipe, Los Andes patenta temperaturas diurnas y nocturnas inferiores con respecto a la primera (ver cartografía en el anexo 1).

En cuanto a la estimación en los seis puntos de medición de la ciudad, Regimiento y SINCA, ubicados en las zonas este y sureste respectivamente, son los que presentan los mayores valores térmicos de emisión superficial con respecto al resto, además, son los únicos puntos que superan los 40°C diurnos y 16°C nocturnos, a excepción de Los Andes Centro que también registra 40,1°C. En contraparte, Juan Pablo II, ubicado en el suroeste de la ciudad, es el punto en donde se anotan las menores temperaturas de emisión superficial, tanto diurnas como nocturnas.

Con respecto a la variabilidad temporal de las temperaturas de los cuatrimestres de verano, se puede afirmar que durante las noches se evidencia un comportamiento temporal estable de los valores térmicos, estimando una muy leve disminución de sus registros, siendo el verano del año 2002 el de mayores temperaturas, y el del 2011 el de las menores. Húmeres, ubicado en el sur de la ciudad, presenta un coeficiente de

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

determinación del 8,9% y de correlación de -0,3, permitiendo estimar, una relación negativa débil entre los valores de temperaturas y los años de medición (ver tabla 12). Por otro lado, las temperaturas diurnas han ido en aumento en la segunda mitad de los últimos 22 veranos.

La intensidad de la ICUs de verano de Los Andes es moderada (3,9°C) durante las horas diurnas y moderadamente débil en las noches (2,3°C). Regimiento es el punto que registra las mayores diferencias, con 3,7°C en horas diurnas y 2,2°C en horas nocturnas, mientras que Juan Pablo II es el punto que patenta las menores diferencias, con 1,1°C en horas diurnas y 0,6°C en horas nocturnas.

Las anomalías de temperaturas nocturnas fluctúan entre -1 y 1,9°C. Los veranos de los años 2000-01 y 2001-02 fueron los más cálidos, mientras que los de 2009-10 y 2010-11 fueron los más frescos. Húmeres es el punto que registró una mayor diferencia positiva y España, ubicado al noroeste de Los Andes, es el sitio que presentó la mayor diferencia negativa. De similar manera, pero mayor, fueron las diferencias de temperaturas diurnas, ya que oscilaron entre los -3,8 y 3,3°C (ver las tablas de los anexos 4 y 5).

Tabla 12: Resumen estadístico general de las temperaturas de emisión superficial de verano en Los Andes.

Nombre	T(°C) superficial diurnas				T(°C) superficial nocturnas			
	Promedio	Intensidad ICUs	Coef. Correl.	R2	Promedio	Intensidad ICUs	Coef. Correl.	R2
España	39,34	2,58	0,845	71,45%	15,33	1,11	-0,128	1,65%
Juan Pablo II	37,72	1,07	0,833	69,33%	14,88	0,62	-0,134	1,79%
Húmeres	39,65	2,79	0,857	73,53%	15,39	0,95	-0,299	8,93%
Regimiento	40,72	3,65	0,813	66,18%	16,48	2,24	-0,078	0,61%
Los Andes Centro	40,10	3,11	0,832	69,17%	15,87	1,60	-0,196	3,86%
SINCA Los Andes	40,61	3,51	0,820	67,30%	16,06	1,71	-0,261	6,83%

3.1.2. Análisis de las temperaturas atmosféricas intraurbanas de las ciudades de San Felipe y Los Andes del verano 2021-22

El análisis de las temperaturas de las ciudades constituye en una de las principales líneas de trabajo que conforman los estudios de clima urbano. En este subtema se presentarán los resultados de los registros de temperaturas mínimas y máximas de los diez puntos de medición, más de las dos estaciones meteorológicas de las ciudades de San Felipe y Los Andes, con el objetivo construir bases estadísticas que permitan analizar los comportamientos térmicos intraurbanos de las áreas de estudio.

La cobertura temporal promedio total de datos fue de 98,9%. San Felipe Centro (Ib09) es el que presenta la menor cobertura con un 89,6%, debido a una sobreescritura de los datos de enero, lo que permitió cubrir el 60% de los registros de dicho mes. En la tabla 13 se detallan los porcentajes de cobertura de datos de cada punto de medición.

Tabla 13: Cobertura total de registros de medición de temperaturas atmosféricas

Comuna	Punto	Código	Inicio de toma	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Promedio
San Felipe	Escuela Agrícola	EASF-DMC		99,6%	99,5%	99,9%	100%	99,8%
	San Felipe Centro	Ib09	30/11/2021	98,1%	60,2%	100%	100%	89,6%
	Villa Yevide	Ib02	27/11/2021	100%	100%	100%	100%	100%
	Encon	Ib05	27/11/2021	100%	100%	100%	100%	100%
	Yungay Norte	Ib03	27/11/2021	100%	100%	100%	100%	100%
	La Troya	Ib01	27/11/2021	100%	100%	100%	100%	100%
Los Andes	SINCA	S-LA		93,5%	99,9%	100%	100%	98,4%
	Húmeres	Ib07	28/11/2021	100%	100%	100%	100%	100%
	Juan Pablo II	Ib06	28/11/2021	100%	100%	100%	100%	100%
	España	Ib04	27/11/2021	100%	100%	100%	100%	100%
	Los Andes Centro	Ib08	30/11/2021	100%	100%	100%	100%	100%
	Regimiento	Ib10	1/12/2021	98,5%	100%	100%	100%	99,6%

A continuación se expondrán los resúmenes de los registros de temperaturas cuatrimestral, mensual, diaria y horaria. En primer lugar, se presentará el compendio de datos de los puntos de medición de San Felipe y en segundo los correspondientes a los puntos de Los Andes.

3.1.2.1. Resumen cuatrimestral del comportamiento térmico intraurbano de las ciudades de San Felipe y Los Andes

Durante el cuatrimestre de verano 2021-22 las temperaturas medias rondaron los 22°C en toda la ciudad de San Felipe. La estación Escuela Agrícola de la DMC, ubicada al este de la ciudad registró una temperatura media de 20,6°C, siendo la menor de los seis puntos de medición establecidos, mientras Villa Yevide, situada al suroeste de la capital provincial, corresponde al sitio más cálido de San Felipe del verano, donde cuya temperatura media fue de 22,6°C (ver cartografía del anexo 6). Respecto a las mínimas, Yungay Norte registró en promedio las mañanas más cálidas del último cuatrimestre, con 13,9°C, mientras que Escuela Agrícola patentó las mínimas veraniegas más bajas de la ciudad, promediando los 10,6°C. Por último, en cuanto a las máximas, Villa Yevide y La Troya son los únicos puntos que superaron la barrera de los 33°C, registrando 33,8 y 33,3°C respectivamente, mientras que nuevamente Escuela Agrícola corresponde al punto de anotó las máximas medias más bajas de la ciudad, con 31,3°C (ver tabla 14).

Respecto a las diferencias térmicas entre los puntos de medición, se destaca una mayor amplitud durante las horas de madrugada y mañana que en el tramo de la tarde, alcanzando un promedio de 3,3°C entre el Escuela Agrícola (más fresco) y Yungay Norte (más templado). Por lo tanto, bajo a dicho margen horario, es posible estimar dos núcleos cálidos emplazados sobre las áreas suroeste (Villa Yevide) y norte (Yungay Norte) de la ciudad, y zonas de enfriamiento hacia la periferia este (Escuela Agrícola y De la Troya) y noroeste (Encon).

Las diferencias de temperaturas máximas entre puntos alcanzaron los 2,5°C entre Escuela Agrícola y Villa Yevide, siendo más cálida la segunda. Respecto a la distribución espacial se resalta el emplazamiento de dos núcleos cálidos en las periferias suroeste y este y dos

áreas de frescor en situadas en el centro y centro este de la ciudad. Debido a lo último, se permite estimar la presencia de una isla fría urbana en la ciudad dado a la presencia de menores temperaturas en el centro con respecto a la periferia. Picone (2014) determina que esta distribución se debe al enfriamiento/calentamiento de los diferentes materiales de las superficies construidas.

El mes más cálido del cuatrimestre fue enero, cuya temperatura media fue de 22,6°C en todos los puntos, seguido de diciembre con 22,3°C, febrero con 21,9°C y marzo con 20,5°C. Las amplitudes térmicas oscilan entre los 18,1 y los 22,1°C, siendo en San Felipe Centro y Yungay Norte los puntos que registraron las menores amplitudes, en contraste de Escuela Agrícola y De la Troya (ver tabla generalizada del anexo 7). Desde el punto de vista estadístico, la razón por la cual enero fue el mes más cálido se debe al incremento de casi 1°C de sus temperaturas mínimas respecto al mes anterior, sin embargo y como veremos más adelante, no registró las temperaturas máximas más altas, ni la mayor ocurrencia de olas de calor. En relación con esto, las máximas térmicas se concentraron durante diciembre, el cual registró dos olas de calor en la estación meteorológica de Escuela Agrícola. Durante febrero las máximas y mínimas decayeron en todos los puntos, excepto en Villa Yevide y San Felipe Centro, donde las temperaturas mínimas se mantuvieron. Finalmente en marzo se patentó el mayor descenso de temperaturas, siendo Yungay Norte el punto que evidenció la mayor bajada con 1,6°C menos respecto a febrero. Sin embargo, en Villa Yevide anotó una leve suba de 0,1°C en las máximas entre febrero y marzo, siendo el único punto que registró un incremento térmico.

Tabla 14: Promedio de temperaturas de los puntos de medición de San Felipe, durante el periodo cuatrimestral de verano 2021-22.

Promedio de temperaturas cuatrimestral (°C)				
Puntos	Mínima	Media	Máxima	Amplitud
Esc. Agrícola	10,6	20,6	31,3	20,7
San Felipe Centro	12,9	21,9	31,8	18,9
Villa Yevide	13,7	22,6	33,8	20,2
Encon	12,2	21,4	32,4	20,2
Yungay Norte	13,9	22,6	32,6	18,7
De la Troya	12,2	21,8	33,3	21,1

Se elaboraron mapas de ganancias y pérdidas acumulativas de temperaturas, calculadas mediante los valores obtenidos por puntos y ajustados mediante cinco segmentos horarios. Durante los cuatro meses de medición hubo bastante similitud en cuanto a los valores de los balances térmicos, por lo que se estimó un promedio respecto al periodo estival.

Las áreas de mayor calentamiento radiativo durante las horas de la mañana se ubicaron en los sectores centro y centro este, con aumentos de 10°C en promedio, mientras que en las horas de la tarde, las áreas de las ganancias radiativas más altas se ubicaron en las periferias suroeste y noreste (ver figura 11). Con respecto a las horas de enfriamiento radiativo, las mayores pérdidas de temperaturas se situaron, por lo general, en las periferias de la ciudad. No obstante, se destaca el lento enfriamiento en el sector de Villa

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

Yevide durante el atardecer, viéndose aumentado posteriormente en las horas de la noche temprana y madrugada. (ver figura 12)

Figura 11: Ganancia de temperaturas en segmentos horarios durante el verano 2021-22 en la ciudad de San Felipe.

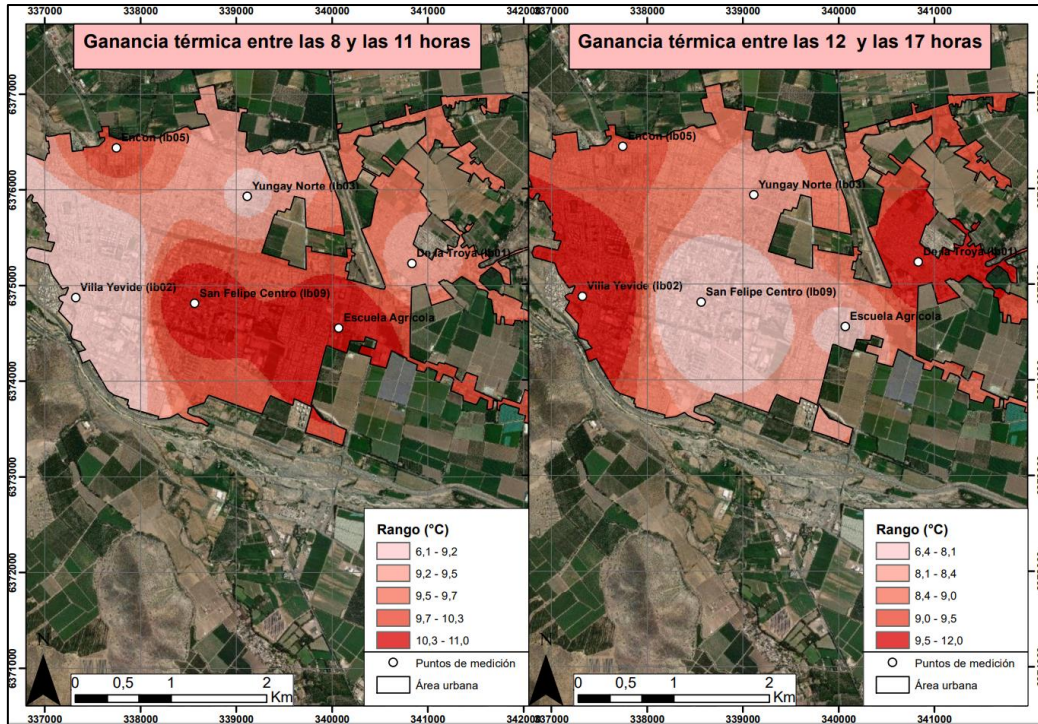
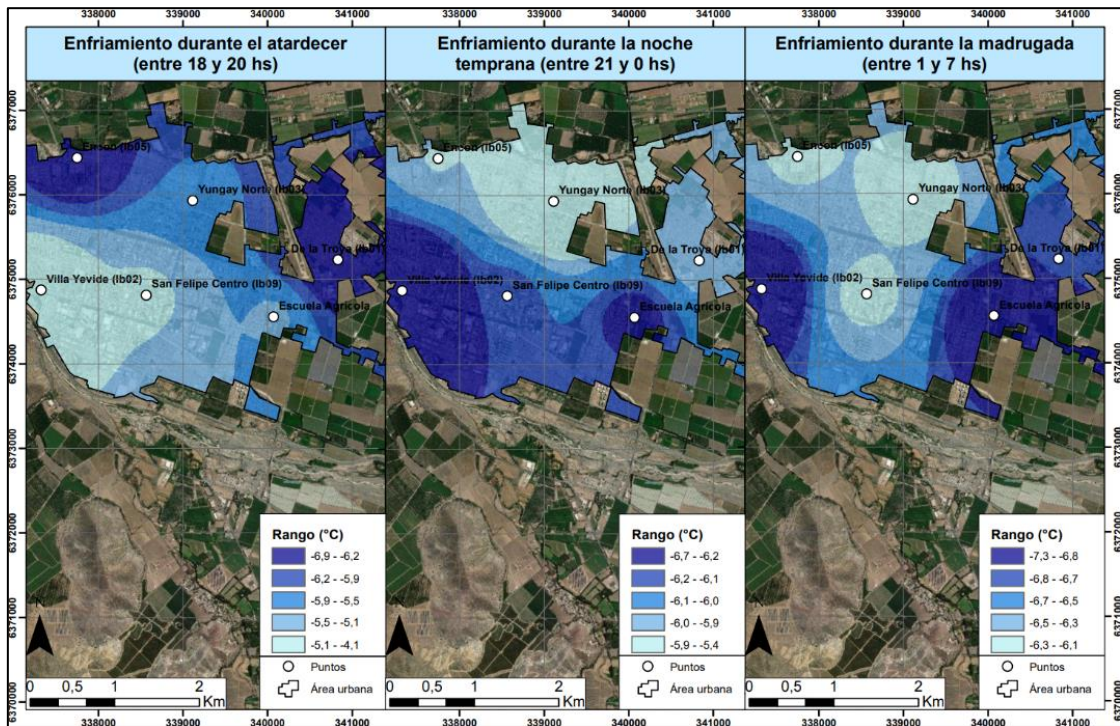


Figura 12: Pérdida de temperaturas en segmentos horarios durante el verano 2021-22, en la ciudad de San Felipe



En cuanto a la ciudad de Los Andes, las temperaturas medias del cuatrimestre de verano 2021-22 de Los Andes oscilaron entre los 21 y 23°C en los seis puntos de la ciudad. Durante las últimas horas de madrugada y primeras de la mañana se apreciaron las mayores diferencias térmicas entre puntos, mientras que durante la tarde, preferentemente en los horarios de registros de las máximas temperaturas, dichas disimilitudes fueron menores (ver cartografía en el anexo 6).

Las áreas con las mañanas más frescas de la ciudad son Juan Pablo II y Regimiento, cuyas temperaturas mínimas promedio de la temporada fueron de 11,6 y 11,8°C, respectivamente. En contraparte, el casco urbano de la ciudad patentó mañanas más templadas, con valores térmicos medios que se aproximaron a los 16°C. Por otro lado, durante las tardes, las zonas más cálidas se ubicaron en el oeste y centro de la ciudad, donde específicamente Juan Pablo II, situado al suroeste, fue el punto que registró las mayores temperaturas de la capital provincial, con un promedio que superó los 33°C durante el verano. Además, Juan Pablo II es el único punto de la ciudad cuya amplitud térmica diaria cuatrimestral superó los 20°C (ver tabla 15).

Tabla 15: Promedio de temperaturas de los puntos de medición de Los Andes, durante el periodo cuatrimestral de verano 2021-22.

Temperaturas promedio cuatrimestral (°C)				
Puntos	Mínima	Media	Máxima	Amplitud
SINCA	12,9	21,6	30,9	18,0
Húmeres	14,8	23,1	31,1	16,2
Juan Pablo II	11,6	21,7	33,2	21,6
España	13,9	22,5	32,4	18,5
Los Andes Centro	15,8	22,9	32,3	16,4
Regimiento	11,8	21,6	31,6	19,8

Los meses más calurosos de la temporada de verano fueron diciembre y enero, ambos promediaron 23,1°C. Las temperaturas mínimas más altas se registraron en enero, donde en todos los puntos de medición registraron aumentos promedio de 0,5°C respecto a diciembre. Mientras que, por otro lado, las máximas mayores del cuatrimestre se patentaron en diciembre, con descensos térmicos en relación con el mes antecesor de -0,6°C, siendo Regimiento el único sitio que registró un aumento en las máximas térmicas.

Posteriormente, durante la segunda mitad de la temporada, las temperaturas, tanto las mínimas como las máximas fueron descendiendo al orden de 1°C por mes. Húmeres fue el punto que presentó la mayor caída temperaturas por mes en la ciudad en dicha mitad (-1,5°C), por otro lado, Los Andes Centro es el sitio que registró el menor declive de temperaturas (-0,7°C). Aquello puede venir dado por la materialidad de las superficies edificadas presentes en el centro de la ciudad, donde además aquel comportamiento lo podemos ver en San Felipe Centro, que las temperaturas durante la segunda mitad descendieron -0,5°C.

Con respecto a los balances de temperaturas. Entre las 8 y 11 horas, las zonas de mayor calentamiento se ubicaron en el eje este de la ciudad, con aumentos de 13°C en Regimiento. Posteriormente, durante las horas de la tarde, en el sector centro y suroeste se situaron las áreas de mayores ganancias de temperaturas (ver figura 13). En cuanto a

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

las pérdidas de temperaturas, estos fueron mayores en la periferia suroeste y menores en el centro de la ciudad (ver figura 14).

Figura 13: Ganancia de temperaturas en segmentos horarios durante el verano 2021-22 en la ciudad de Los Andes.

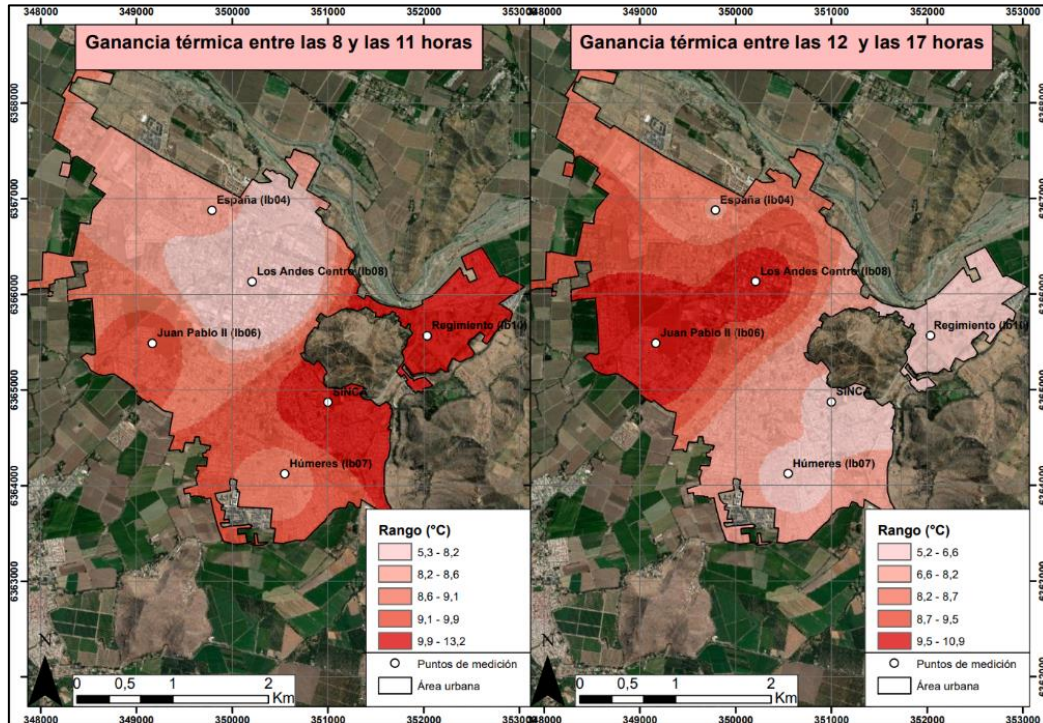
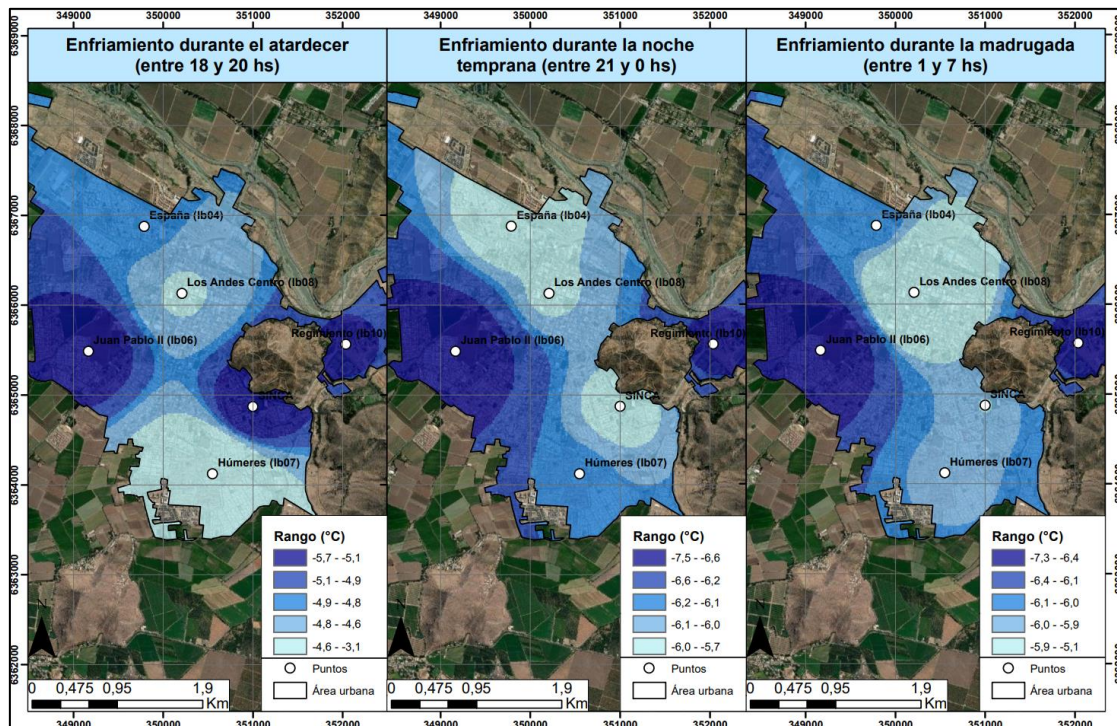


Figura 14: Pérdida de temperaturas en segmentos horarios durante el verano 2021-22 en la ciudad de Los Andes.



3.1.2.2. Resúmenes mensuales del comportamiento térmico intraurbano de las ciudades de San Felipe y Los Andes

i. Distribución termal intraurbana de diciembre 2021

Tanto en San Felipe, como en Los Andes, el mes de diciembre el segundo más cálido en del verano 2021-22, superando levemente los 22°C en promedio entre los seis puntos de San Felipe, y los 23°C en Los Andes.

En el caso de **San Felipe**, la estación Escuela Agrícola, ubicado en un área compuesto fundamentalmente por construcciones de baja altura y poca densidad, fue el sitio que registró las menores temperaturas del área urbana con 20,9°C, mientras que Yungay Norte, constituido por áreas residenciales compactas de baja altura, registró la mayor media mensual con 23,3°C. Las mañanas de diciembre fueron las segundas más frescas del cuatrimestre, siendo en Escuela Agrícola el lugar con las mínimas térmicas más bajas de la ciudad, con 10,7°C, mientras que Yungay Norte registró mañanas más templadas, promediando los 14°C (3,3°C más que el punto más fresco). Se destacan valores similares en el resto de los puntos, detallados en la tabla generalizada de datos medios mensuales, visualizada en el anexo 7

Las máximas de diciembre fueron las más calurosas del último verano. Los núcleos cálidos se concentraron en el suroeste y noreste de la ciudad, donde Villa Yevide y De la Troya fueron los únicos puntos que cuyas máxima térmicas mensual promedio superaron los 34°C. En contraparte, Escuela Agrícola y San Felipe Centro fueron los puntos más frescos de la ciudad con 32,2 y 32,7°C. Las diferencias de temperaturas las máximas entre los diferentes puntos fueron menores que en las mínimas (2,5°C), siendo Villa Yevide el punto que promedió la mayor diferencia respecto al resto de los sitios (+1,5°C).

Respecto a la distribución termal espacial horaria de la ciudad del mes de diciembre, es posible identificar algunos matices distintivos. Según Oke (1992), afirma que, a pesar de estar inmerso a las mismas condiciones meteorológicas, cada material posee diferentes propiedades térmicas y distintos balances energéticos. La configuración de la isla térmica nocturna, entre las 21 y 6 horas, evidencia la localización de un núcleo cálido durante las primeras tres horas de la noche, ubicado en el área suroeste de San Felipe (Villa Yevide), que posteriormente este se emplazaría en el sector norte de la ciudad (Yungay Norte), siendo éste último el punto más cálido hasta las 10 horas, ya que a partir de dicho momento, el núcleo cálido se concentraría en el centro urbano de la ciudad hasta el mediodía, siendo posteriormente reubicado en el sector suroeste de San Felipe (Villa Yevide) hasta medianoche (ver tabla 1 del anexo 8). Las dos áreas más frescas de la ciudad se sitúan en el sector este (Escuela Agrícola) y noroeste (Encon), siendo el primero el de mayor frescor durante 20 de 24 horas, mientras que las cuatro horas restantes, entre las 8 y 11 horas, el sitio más fresco de la ciudad se localizó en Villa Yevide. En la figura 15 se presenta la evolución de la isla térmica por segmentos horarios del mes de diciembre.

La diferencia térmica promedio diaria de diciembre promedió los 3,2°C. Las mayores diferencias se evidenciaron previo al medio día y en las últimas horas anteriores de la

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

puesta de sol, registrando 4,7 y 4,3°C, respectivamente. Mientras que durante las primeras horas de sol, entre las 6 y las 8 horas, la variación fue de 2,3°C, siendo el periodo horario de menor diferencia térmica (ver tabla 2 del anexo 8).

En cuanto a los procesos de calentamiento y enfriamiento, San Felipe Centro registró la mayor ganancia de temperatura, promediando un incremento de 13,5°C, con un promedio de 3,4°C por hora, durante las primeras cuatro horas de sol¹¹. Mientras que, en Villa Yevide y De la Troya, fueron los sitios donde se registraron los menores incrementos térmicos en el tramo de las primeras horas posterior a la salida del sol, cuyos valores térmicos de aumento fueron de 9,5 y 11°C, respectivamente.

Durante las horas de la tarde¹², el calentamiento radiativo fue mayor en las periferias suroeste y este de la ciudad, con sumas que fueron superiores a los 10°C, mientras que, en contraparte, San Felipe Centro registró el menor aumento (5°C).

En las horas del atardecer, entre las 18 y 20 horas, el enfriamiento térmico fue superior en De la Troya con -7,7°C, con un descenso de casi -5°C entre las 19 y 20 horas. Durante las horas finales del día, atardecer y noche, San Felipe Centro registró la menor disminución térmica de la ciudad, con un total de -5,1°C en el atardecer y de -6,8°C en la noche temprana.

Respecto a la ciudad de **Los Andes**, se evidencia un núcleo cálido en el sur, sector compuesto por áreas residenciales de baja altura pero de gran densidad, con temperaturas medias superiores a 24°C, mientras que se presenciaron dos áreas frescas de igual valor térmico en el este y noreste de Los Andes, cuyos sectores están constituidos por cubiertas de suelo de baja densidad construida, mezclada con espacios de coberturas de suelos desnudos y cuerpos vegetales. Lo anterior se puede visualizar en la tabla generalizada de datos medios ubicada en el anexo 12.

A diferencia de la composición de la isla de calor urbana de San Felipe, la ciudad de Los Andes presenta una mayor heterogeneidad en la evolución de su isla térmica, ya sea a través de la durabilidad de las localizaciones de los núcleos cálidos y frescos, como también en la diferencia térmica entre distintos puntos, que a priori, es mayor en comparación con San Felipe (ver tabla 1 del anexo 13).

Durante la madrugada se destacan dos áreas calientes de la ciudad emplazadas en los sectores sur y centro, promediando los 18°C entre la medianoche y seis de la mañana. Además, se presencia una tercera área cálida situada en el noroeste, que presenta un mayor descenso de temperaturas que en parangón con los otros dos puntos primeramente mencionados. En contraparte, los sectores más frescos durante la madrugada de diciembre se situaron en la periferia noreste, este y suroeste, registrando en promedio -3°C respecto al centro de la ciudad.

La isla térmica durante las primeras horas de sol patenta un mayor calentamiento en los sectores este y sur, donde SINCA y Húmeres registró un promedio superior a 18°C a las 8 horas, en comparación con los 14°C registrados, en la misma hora en Juan Pablo II,

¹¹ Se contabiliza previo a mediodía

¹² Se consideró entre las 12 y las 17 horas.

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

ubicado al suroeste (ver tabla 2 en el anexo 13). El aumento de temperatura en Regimiento, situado en el sector noreste, fue levemente más tardío que en SINCA. Sin embargo, este calentamiento diferencial, concentrado preferentemente en el eje este se puede deber a que una menor densidad construida disminuye el efecto sombra, permitiendo acumular más calor en las primeras horas de exposición solar (Picone, 2014).

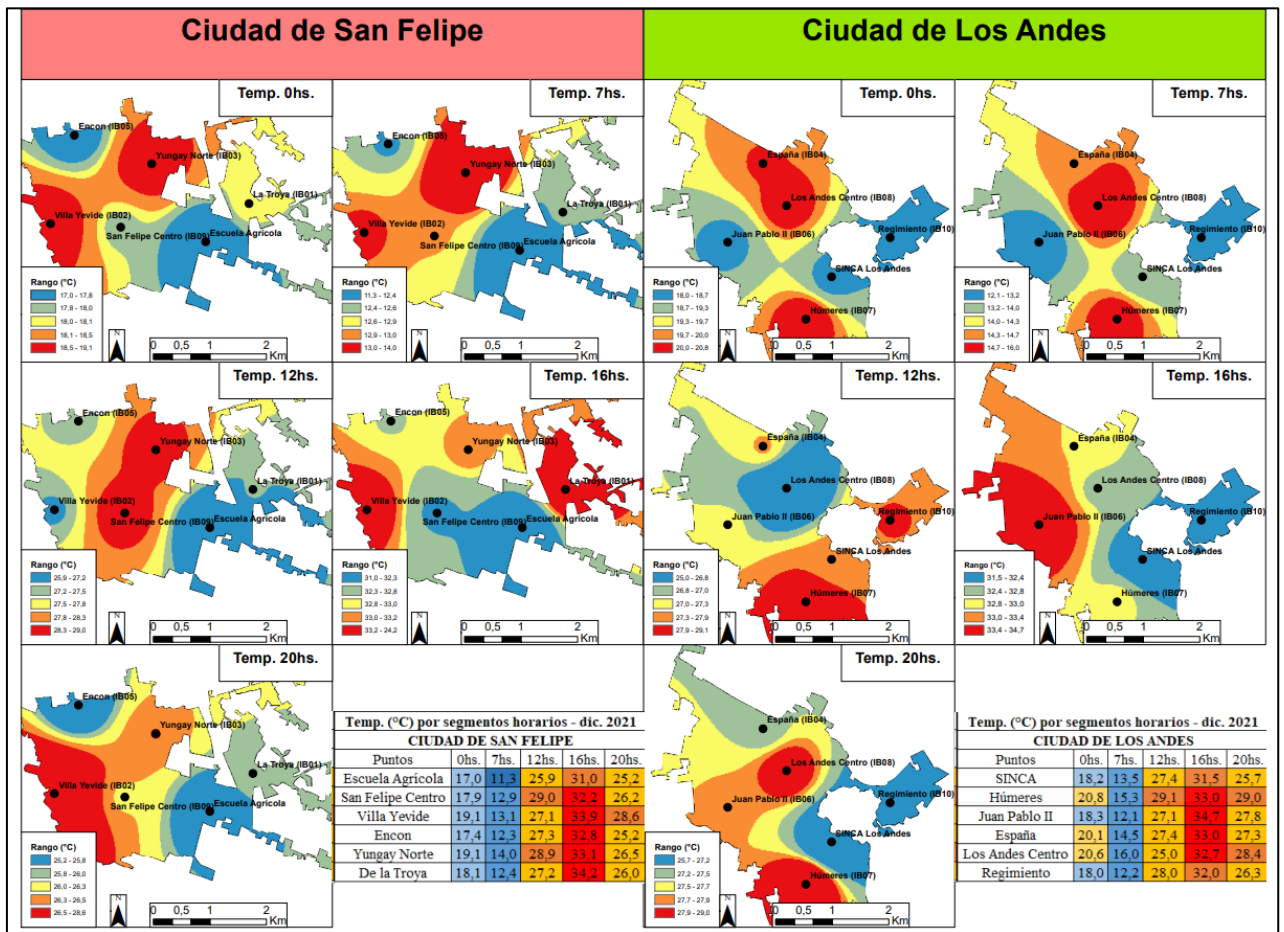
Por otro lado, con respecto al sector suroeste, Juan Pablo II, la justificación de sus valores térmicos puede estar asociado a la dinámica de brisas locales campo-ciudad ya que, las cubiertas vegetales enfrían las masas de aire, permitiendo que estas se desplacen hacia zonas de menor presión atmosférica (Smith & Andrade, 2013).

Entre las 11 y 14 horas se puede evidenciar la presencia de una *isla fría*, con diferencias térmicas de 3°C entre Los Andes Centro y su periferia este (ver figura 15). Aquello puede estar vinculado al efecto sombra que generan los cañones urbanos (Picone, 2014). Posteriormente, el calentamiento de las áreas con mayor densidad construida es más pronunciado que en áreas de menor densidad, acumulando 10,5°C en promedio entre las 12 y 17 horas en Los Andes Centro. También se destaca el incremento de 10°C en España, ubicado al noroeste de la capital provincial.

Desde las 16 hasta las 19 horas se destaca claros patrones de variabilidad termal: desde el eje central, incluyendo el sur (Húmeres), hacia el oeste se concentran las zonas calurosas de la ciudad, mientras que el eje este está constituido por los sitios más frescos. Juan Pablo II es el punto más cálido en mencionado segmento horario, que a medida transcurre el tiempo las diferencias entre los lugares más calurosos va disminuyendo. Finalmente, a partir de las 20 hasta medianoche, el eje sur y central (Húmeres y Los Andes Centro) concentra las mayores temperaturas de la ciudad, mientras los ejes oeste y este presentan un enfriamiento térmico más acelerado.

Respecto a los balances de temperaturas, las horas de mayores ganancias de calor se registraron entre las 9 y 10 de la mañana, con incrementos de más de 4°C en ambas horas en Regimiento, acumulando entre las 7 y 11 casi 14°C. Por otro lado, se destaca el calentamiento acumulativo de 6°C en Los Andes Centro, siendo el punto de menor incremento matutino (tabla 2 del anexo 13).

Figura 15: Evolución de la isla térmica de diciembre 2021, por segmentos horarios, de las ciudades de San Felipe y Los Andes.



ii. Distribución termal intraurbana de enero 2022

El mes de enero fue el más cálido del cuatrimestre de verano 2021-22. La temperatura media de la ciudad rondó los 22,6°C en San Felipe y los 23,1°C en Los Andes. Las mínimas térmicas fueron las altas del verano, superando los 13°C en ambas ciudades, mientras que las máximas fueron levemente menores que las registradas durante diciembre.

Escuela Agrícola fue el sitio que registró los valores extremos, tanto mínimos como máximos, más bajos de la ciudad de **San Felipe**. Mientras que Villa Yevide y Yungay Norte, fueron los puntos más cálidos durante el mes de enero (ver tabla 1 del anexo 9).

La distribución espacial horaria de temperaturas mostró una mayor heterogeneidad en cuanto a la localización de zonas cálidas y zonas frescas que con respecto a diciembre. Durante las horas nocturnas, los núcleos de calor y de frescor se mantuvieron en el sector suroeste y en el sector este, respectivamente. Posteriormente, se evidenció un leve núcleo frío a las 8 horas, que después se localizó en la periferia este de la ciudad hasta las 10hs. Debido al calentamiento tenue en el sector suroeste durante las primeras horas, Villa Yevide fue el punto más fresco de la ciudad entre las 10 y 12 horas, donde posteriormente la ganancia de temperatura incrementó bruscamente a partir del cenit hasta las 17 horas,

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

siendo este el sitio más cálido de la ciudad durante la tarde (ver tabla 2 del anexo 9). Durante el tramo del amanecer y atardecer se registraron las mayores amplitudes térmicas entre puntos, con cifras superiores a los 4°C, resultando un promedio de 3°C de diferencia térmica diaria mensual, -0,2°C respecto a diciembre 2021 (ver figura 16).

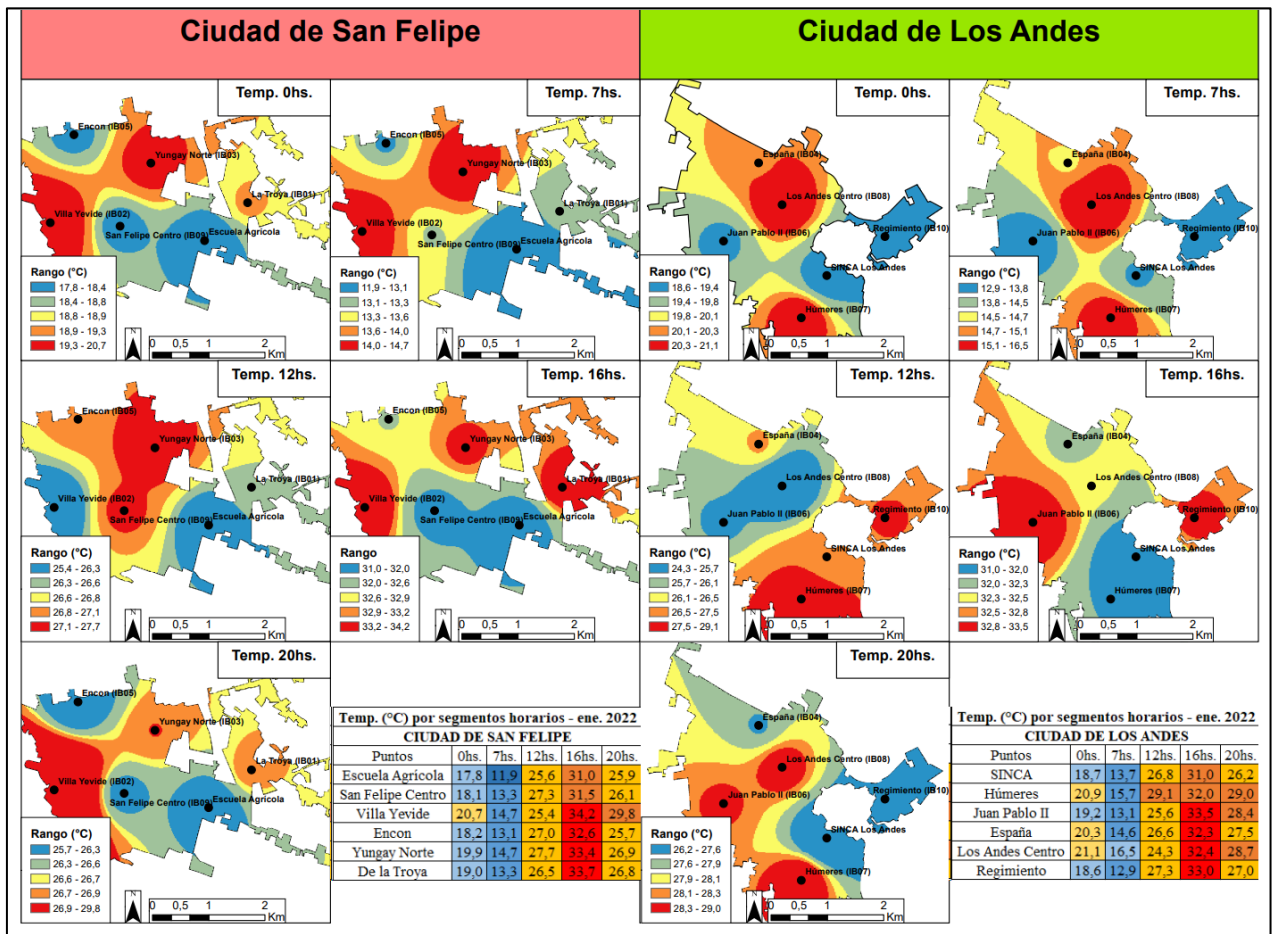
Las mayores ganancias de temperaturas previo a mediodía se situaron en San Felipe Centro y en el pericentro este (Esc. Agrícola) con 10,4°C, levemente atrás se visualiza a Encon con una suba de 10,2°C. Se destaca un aumento ralentizado en Villa Yevide antes de mediodía, sin embargo, es el punto donde se calienta más posterior a la hora del cenit, acumulando una suba de 11,7°C. A partir de las 17 se registró los primeros descensos de temperaturas, siendo mayores en la periferia este (De la Troya) y en el sector noroeste (Encon). En oposición de aquello, durante el atardecer el sector suroeste presentó un lento enfriamiento térmico de 3,7°C, siendo el más inferior de la ciudad en dicho tramo horario.

Respecto a la distribución termal de enero en la ciudad de **Los Andes**, se destaca que, entre la medianoche y las siete de la mañana, la configuración de la isla térmica concentra las mayores temperaturas en las zonas centro y sur de la ciudad, y las menores en las periferias este y suroeste (ver figura 16). Posteriormente, durante las primeras horas de sol y de ganancia térmica, el calentamiento se emplazó, primeramente, en los sectores sur, este y noreste. Por otro lado, el área suroeste presentó un calentamiento radiativo gradual, convirtiéndose en el punto más fresco de Los Andes durante ese segmento horario. Las diferencias térmicas promedio entre las 9 y 12 horas alcanzaron los 5°C.

Durante la sección horaria de las 11 y 14 horas, y de similar manera que en diciembre, se visualizó una *isla fría*, ya que el calentamiento del sector céntrico de Los Andes, debido al efecto sombra que ejercen las construcciones de mediana altura, fue menor que en las áreas sur, este, noreste y noroeste, este último en menor grado. Al mediodía, Los Andes Centro registró un promedio de 24,3°C, casi 5°C menos que en Regimiento y Húmeres, que marcaron 27,6 y 29,1°C, respectivamente (ver tabla 1 del anexo 14).

Debido a que el balance radiativo a escala urbana no es homogéneo, podemos notar que entre las 15 y 16 horas se evidenció las menores amplitudes térmicas entre puntos, llegando a valores medios de 1,7°C. En cuanto a los balances térmicos, la hora de mayor ganancia térmica se registró a las 10 AM., donde en Regimiento la temperatura aumentó 5,1°C promedio en una hora (ver tabla 2 en el anexo 14).

Figura 16: Evolución de la isla térmica de enero 2022, por segmentos horarios, de las ciudades de San Felipe y Los Andes



iii. Distribución termal intraurbana de febrero 2022

A partir de febrero se comenzó a evidenciar un descenso promedio de 1°C respecto al mes de enero en gran parte de los puntos de las ciudades de San Felipe y Los Andes. La primera de ella registró una temperatura media mensual de 21,9°C, mientras que la segunda fue de 22,1°C.

En cuanto al comportamiento térmico de la ciudad de **San Felipe**, el sector de Escuela Agrícola fue el sitio más fresco de la ciudad, cuya temperatura media no superó los 21°C, antecedida de Encon con 21,5°C. En contraparte de esto, los puntos de Villa Yevide y Yungay Norte fueron los más cálidos de la capital provincial, promediando en ambos lugares 22,6°C de media mensual. En la tabla generalizada de datos, ubicadas en el anexo 7, se visualizan los principales valores térmicos promedios mensuales de los puntos de medición.

Entre las 0 y las 8 horas, la evolución de la isla térmica concentró sus núcleos extremos en las mismas zonas. Villa Yevide fue el punto más cálido en dicho periodo horario, siendo además el único lugar que registró más de 20°C en la medianoche, mientras que Escuela Agrícola fue el sector más frío de la ciudad en las primeras ocho horas del día. Posteriormente, desde las 9 y hasta las 18 horas, los puntos más calientes se concentraron

entre las zonas céntricas, norte y periferia este de la ciudad, con excepción de las 16 horas, donde éste se ubicó en el sector suroeste de San Felipe (ver figura 17).

Por otro lado, la evolución de la localización de las zonas frescas fue más homogénea. Entre las 0 y 8 horas, el núcleo frío se ubicó en el pericentro este de San Felipe, donde vuelve a ser el punto más fresco, de manera continua, a partir de las 16 horas. Entre las 9 y las 15 horas, a la ralentización en la ganancia de temperaturas, Villa Yevide es el sitio más fresco en dicho segmento horario. También se destaca como área fresca el sector noroeste de la ciudad, donde Encon fue, durante todo febrero, el segundo punto más frío del área urbana.

Respecto al balance térmico horario, las mayores ganancias de temperaturas registradas en las primeras horas de sol se concentraron en el eje centro-este la ciudad, donde se destaca el incremento de 5°C entre las 8 y 9 horas en Escuela Agrícola. En contraparte de esto, Villa Yevide presentó un lento aumento desde las 8 horas hasta mediodía, acumulando 8,3°C en mencionado segmento, siendo muy inferior en comparación con De la Troya con 13,1°C, San Felipe Centro con 13,6°C y Escuela Agrícola con 14,1°C. Después de mediodía se destaca un mayor calentamiento en el sector suroeste de San Felipe, aunque a diferencia de los meses de diciembre y enero, la temporalidad de la concentración del núcleo cálido en Villa Yevide se ajusta en una sola hora correspondiente al segmento de la tarde.

Entre las 18 y 20 horas, las mayores pérdidas de temperaturas se evidenciaron en dos periferias opuestas de la ciudad, en los sectores noroeste (Encon) y este (De la Troya), con descenso térmico promedio de -2,2°C por hora. Mientras que en el sector centro y suroeste se presenta un enfriamiento térmico ralentizado, como por ejemplo en Villa Yevide que mostró una bajada acumulada de -3,2°C desde las 18 horas hasta la puesta de sol. Posterior al ocaso y durante la noche temprana, el descenso de temperaturas fue parejo en gran parte de la ciudad. Después de las 0 horas, se recalca una baja más acentuada en Escuela Agrícola y Villa Yevide (ver tablas 1 y 2, del anexo 10).

En cuanto a la distribución de temperaturas del mes de febrero en **Los Andes**, durante la madrugada las áreas cálidas se concentraron en los sectores centro y sur de la ciudad, mientras que las periferias noreste, este y suroeste mantuvieron las menores temperaturas en dicho segmento horario (ver tabla 1 en el anexo 15). Posteriormente, y de igual forma que en los dos meses anteriores, el mayor calentamiento durante las primeras horas de sol se aglutinó en el eje este de Los Andes, siendo Regimiento el punto más caluroso entre las 8 y las 13 horas, mientras que, paralelamente, la zona de frescor se ubicó en el sector suroeste (ver figura 17).

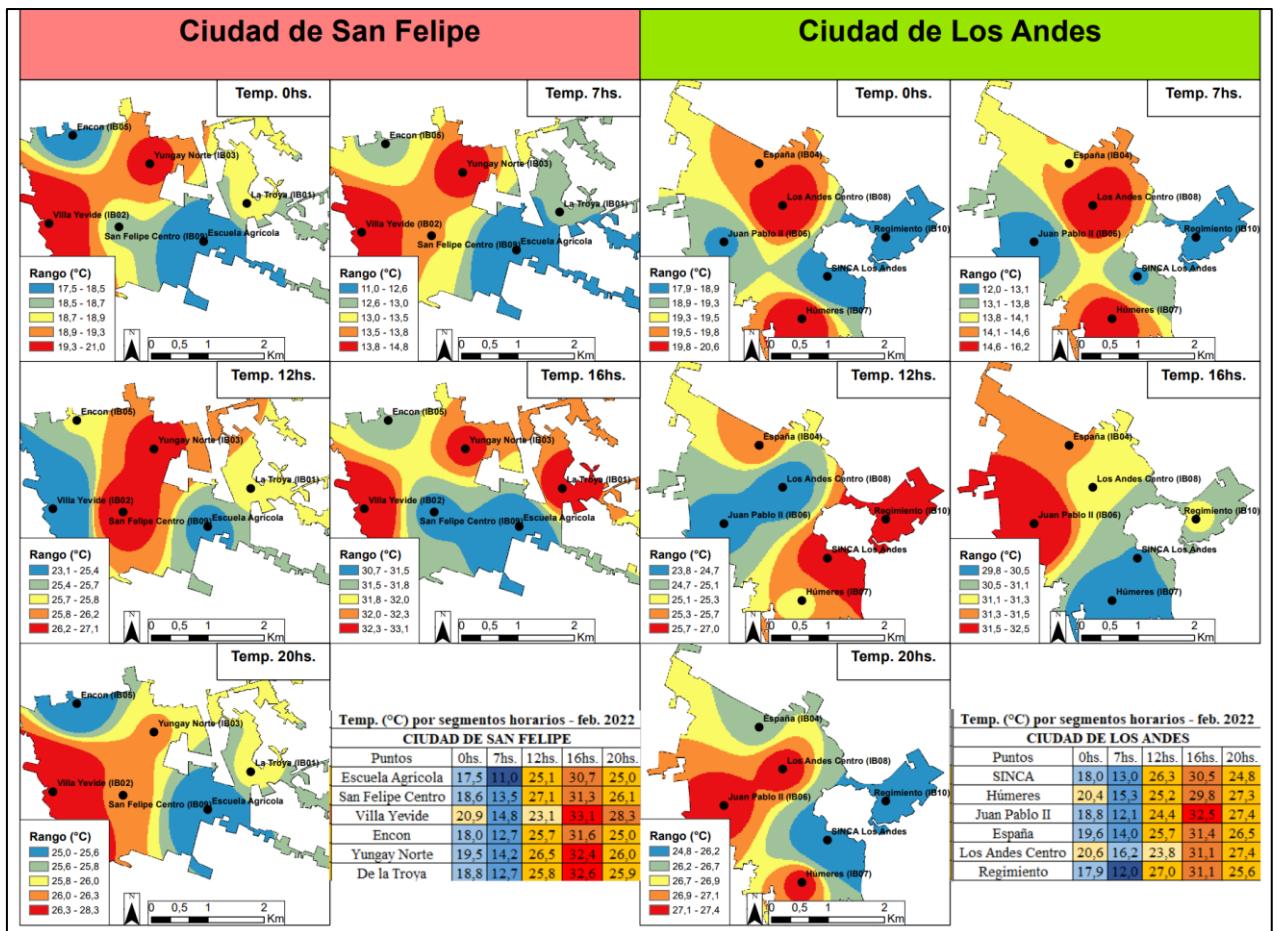
Entre las 12 y 13 horas se evidenció una *isla fría* que marcó diferencias de 4°C con respecto al punto más cálido. En esta ocasión, la duración de la *isla fría* fue de dos horas, menor a la extensión temporal de la misma en los meses de diciembre y enero, que se prolongó desde las 11 hasta las 14 horas.

A partir de las 14 horas se muestra una disminución en la intensidad de la isla de calor urbana. Dicho patrón se extendió hasta las 17 horas. En esta sección horaria, los núcleos

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

cálidos se concentraron, primeramente, en la periferia noreste, pasando posteriormente a la periferia suroeste, mientras que Húmeres concentró las menores temperaturas de la ciudad. Después, durante el atardecer y la noche temprana, y debido al enfriamiento radiativo ralentizado, el núcleo cálido se ubicó en el centro urbano de Los Andes (ver tabla 2 del anexo 15).

Figura 17: Evolución de la isla térmica de febrero por segmentos horarios, de las ciudades de San Felipe y Los Andes



iv. Distribución termal intraurbana de marzo 2022

El mes de marzo fue el menos cálido del verano en ambas ciudades, promediando 20,5°C en ambas.

En **San Felipe**, las mínimas medias oscilaron entre los 9,2°C en Escuela Agrícola y los 12,8°C en Yungay Norte, mientras que en las máximas su rango fue menor, rondó entre los 30,9°C en Escuela Agrícola y Yungay Norte y los 33,2°C en Villa Yevide (ver tabla generalizada del anexo 7).

Durante las horas de madrugada, se evidencian la presencia de dos núcleos cálidos (ver figura 18). El de mayores temperaturas se encuentra ubicado en el sector suroeste, mientras que el otro se localiza en el norte de la ciudad. A partir de la salida de sol hasta las 13 horas, la isla térmica se concentró en el centro urbano. Posterior a aquello, entre las 14 y 18 la distribución espacial de las temperaturas fue homogénea, donde las

diferencias térmicas fueron inferiores a 2°C, por lo que el núcleo cálido tuvo distintas localizaciones. En primer lugar, el eje centro – pericentro este – este de San Felipe fue el sitio más cálido de las 14 horas, marcando de manera respectiva al orden del eje, 29,8°C en San Felipe Centro, 29,2°C en Escuela Agrícola y 30,1°C en De la Troya (ver tabla 1 en el anexo 11). Desde las 15 horas el núcleo cálido se ubicó en sector suroeste, siendo este el sector más cálido de la ciudad hasta las 7 horas.

Debido a que el amanecer de marzo en Chile central inicia a las 7.40 horas, las primeras ganancias de térmicas se evidenciaron en los registros de las 9 am. Los mayores incrementos se ubicaron en los sectores centro y pericentro este de San Felipe, donde en Escuela Agrícola la temperatura subió 3,6°C por hora entre las 9 y mediodía. Después de las 12 horas, se destaca un mayor calentamiento en el suroeste, donde a las 15 horas se evidenció un aumento de 4,5°C en promedio Villa Yevide. A partir de las 17 horas comenzaron a presentarse las primeras pérdidas temperatura, acentuándose más en las periferias noroeste y este de la ciudad.

En cuanto a **Los Andes**. Entre las 0 y 7 horas, la configuración de la isla térmica concentra el núcleo cálido en el sector céntrico de la ciudad y en el sector sur, este último con menores valores respecto al primero. Los sectores más frescos de la madrugada se situaron en las periferias noreste, este y suroeste, siendo este último, patentado a través del punto Juan Pablo II, el que registró el mayor enfriamiento radiativo de la madrugada, concentrando el núcleo de frescor de la ciudad que se prolongó hasta el mediodía, donde además evidenció un calentamiento radiativo menor en comparación con el eje este, durante las primeras horas de sol (ver figura 18).

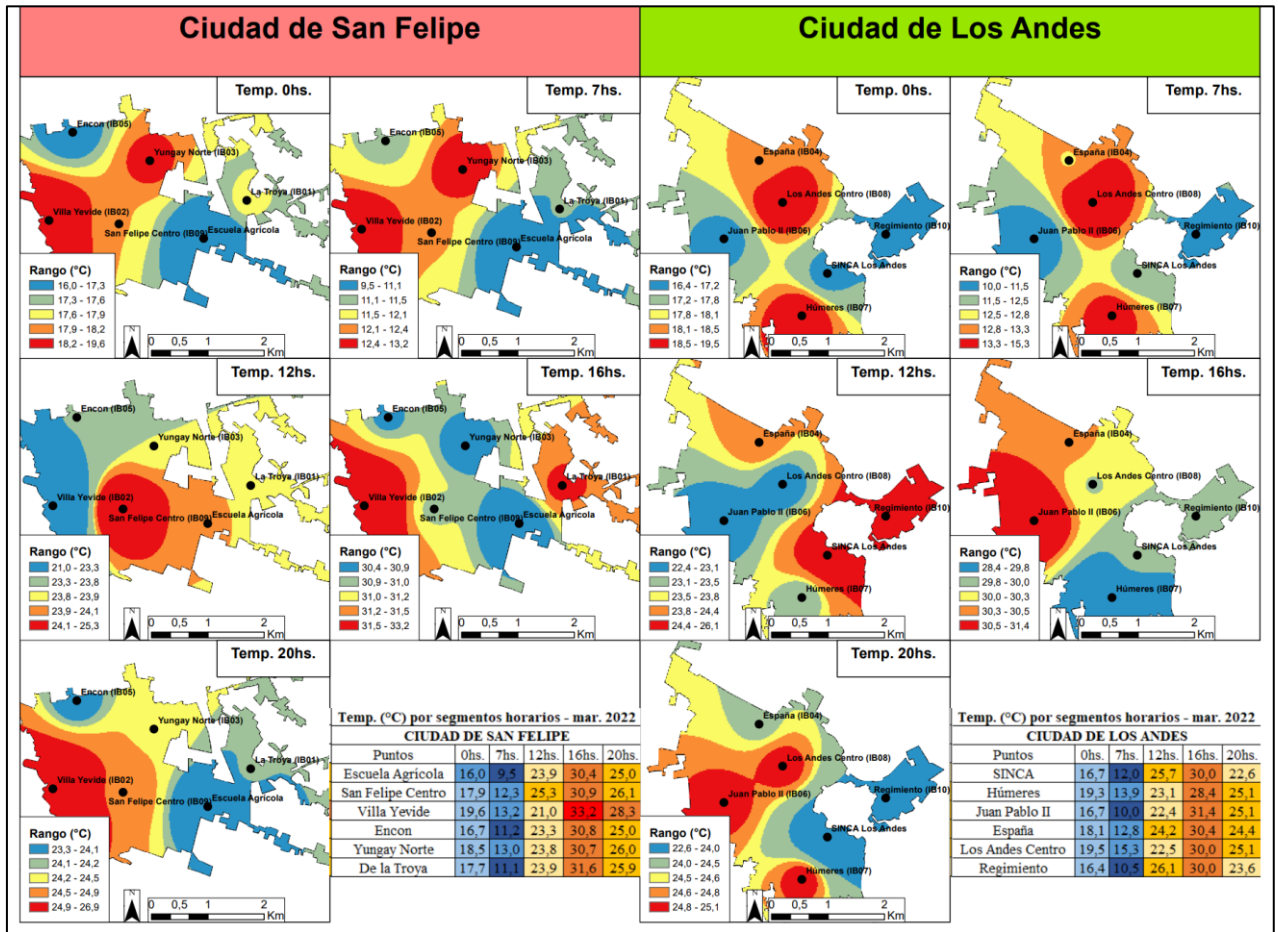
Marzo fue el mes del periodo que marcó la mayor diferencia térmica entre puntos extremos. Entre las 8 y las 11 horas, la amplitud térmica promedió los 7,2°C, cuyo pico se registró a las 9 horas con 8,6°C entre SINCA (20,4°C) y Juan Pablo II (11,8°C).

Respecto a la *isla fría*, marzo fue el mes que patentó la menor extensión temporal de la misma, ajustándose a solo una hora de duración estimada (entre las 13 y 14 horas). Esto se debe a que el calentamiento radiativo matutino del sector suroeste fue menor que en comparación al de los meses anteriores (ver figura 18).

Durante las horas posteriores al mediodía y producto del calentamiento radiativo brusco en Juan Pablo II, el núcleo cálido se ubicó en la periferia suroeste entre las 15 y 17 horas, mientras que la zona de frescor se situó en el sector sur, promediando -3°C respecto a Juan Pablo II (ver tabla 2 en el anexo 16).

En el atardecer, las zonas de mayores pérdidas de temperaturas se concentraron en las periferias noreste, este y suroeste, con descensos acumulados de 7°C en SINCA y 6,2°C en Regimiento y Juan Pablo. Además, entre el inicio del atardecer y la medianoche, el núcleo cálido se concentró en los sectores centro y sur, con marcando un promedio de 25 y 24,2°C en la municipalidad y en Húmeres, respectivamente, mientras que el sector este de la ciudad aglutinó el núcleo de frescor, con 19,2°C promedio en dicho segmento horario.

Figura 18: Evolución de la isla térmica de marzo, por segmentos horarios, de las ciudades de San Felipe y Los Andes



3.1.3. Análisis de los indicadores meteorológicos

3.1.3.1. Frecuencia de días (%) con temperaturas máximas sobre umbrales ajustado en categorías inferior a 30°C “< 30”, entre 30 y 32,5°C “[30 – 32,5°C)”, entre 32,5 y 35°C “[32,5 – 35°C)” y mayores o iguales a 35°C “<= 35°C” en las ciudades de San Felipe y Los Andes

El verano 2021-2022 se caracterizó por un inicio de temporada con anomalías térmicas más altas de lo normal, y un final de temporada con temperaturas levemente inferiores a las medias climatológicas del periodo estival. Dado esto, la mayoría de los días con temperaturas máximas sobre el máximo umbral se registraron durante el mes de diciembre en ambas ciudades, evidenciando además importantes diferencias entre los diferentes puntos de medición.¹³

En cuanto a los valores de los indicadores de los puntos de **San Felipe**, la mayor proporción de días cuyas temperaturas máximas que no superaron los 30°C se presentó en Escuela Agrícola, con un 25%, mientras que el resto fue inferior al 20%, siendo el menor en Villa Yevide, que registró solo un 8%. Los días con máximas entre los 30 y 32,5°C se acumularon, mayoritariamente en Escuela Agrícola (40%) y San Felipe Centro (44%). En el siguiente rango, entre los 32 y 35°C se frecuentaron mayormente en Encon (40%) y Yungay Norte (42%). Y por último, en la categoría de las máximas térmicas superiores o iguales a los 35°C se acumularon, preferentemente, en Villa Yevide con un 37% del total, lo que equivale a 45 de los 121 días de medición (ver figura 19).

Debido a que el mes de diciembre registró las temperaturas máximas diarias más altas de verano, agrupó la mayor cantidad de días con valores térmicos ubicados en las dos categorías superiores. La proporción de días con máximas térmicas entre 32,5 y 35°C alcanzó un 39% entre todos los puntos de medición, siendo esta categoría con la de mayor frecuencia media en cuatro de las seis estaciones del mes de diciembre. Por otro lado, el porcentaje de días promedio, a escala de ciudad, con temperaturas máximas mayores o iguales a 35°C fue del 32%, la más alta del periodo, alcanzando el máximo en Villa Yevide y De la Troya con un 52% del mes en ambos puntos (ver tabla de datos medios de los indicadores mencionados, situado en el anexo 17).

Durante enero se destacaron dos características. En primer lugar, el aumento de días con temperaturas entre los 30 y 32,5, incrementando su frecuencia media de un 13 a un 52%, mientras que en segundo lugar la disminución brusca de días con máximas superiores o iguales a los 35°C, la cual registró una baja de su frecuencia media de un 12%.

A partir de febrero 2022 comenzó el declive en la frecuencia de las temperaturas extremas y el aumento de las temperaturas inferiores a los 30°C y entre 30 y 32,5°C. A pesar de ello, se resalta el 29% de días con máximas térmicas superiores o iguales a los 35°C en Villa Yevide (ver tabla del anexo 17).

¹³ En suma de aquello, el mes con el mayor número de días sobre el UODC y la mayor ODC del verano fue diciembre.

Finalmente, en marzo se registró un aumento promedio del 7%, a escala ciudad, con respecto a la primera categoría. No obstante, lo que más destacó fue la gran proporción de días con temperaturas entre los 30 y 32,5°C, siendo este rango el de mayor frecuencia en casi todos los puntos de la ciudad, con excepción de Villa Yevide.

El verano 2021-22 en **Los Andes** estuvo caracterizado por un inicio de temporada cálido, con temperaturas medias, por sobre todo las máximas medias, ubicadas sobre lo normal. Posteriormente, a medida fue transcurriendo los meses, los valores térmicos se han ido ajustando dentro de los promedios estadísticos normales correspondientes al periodo estival.

El rango de cobertura de días de la temporada con temperaturas mayores o iguales a los 30°C osciló entre el 65% en Húmeres y el 90% en Juan Pablo II. Dicha amplitud fue mayor que la registrada en los puntos de medición de San Felipe. También se destaca una menor frecuencia de días con máximas térmicas sobre los 35°C en Los Andes con respecto a la capital de su provincia vecina, donde la cobertura promedió el 12%, seis puntos menos que la media obtenida en San Felipe. La figura 24 muestra la frecuencia porcentual de días, del periodo de verano 2021-22, que registraron máximas térmicas ajustadas en los rangos establecidos y mencionados en el apartado anterior.

Húmeres es el único punto que obtuvo una mayor frecuencia de días con temperaturas máximas inferiores a los 30°C, a pesar de haber sido el que registró la media térmica cuatrimestral más alta de la ciudad. Por otro lado, los sectores este y noreste registraron la mayor cantidad de días con temperaturas entre los 30 y 32,5°C, mientras que los sectores centro, oeste y suroeste patentaron las más altas frecuencias de máximas térmicas ubicadas entre los 32,5 y 35°C, destacando además de que 1/4 de los días de verano tuvo máximas sobre los 35°C en Juan Pablo II.

Diciembre fue el mes más cálido de la ciudad, reflejándose a través del 64% de los días con máximas térmicas superiores o iguales a los 32,5°C, la cual 2/5 de los 31 días registraron temperaturas máximas que oscilaron los 32,5 y 35°C, siendo además la más pareja en la mayoría de los puntos de medición, con excepción de Juan Pablo II, donde casi la mitad del mes (48%) registró temperaturas mayores o iguales a los 35°C (ver tabla de los datos medios de los indicadores mencionados, ubicado en el anexo 18).

Durante el mes de enero se destacó la disminución del 13% en la frecuencia de días con máximas superiores o iguales a los 35°C, que además dicho rango está cercano a los umbrales diarios de olas de calor (UODC) del mes respectivo, por lo que la ocurrencia de olas de calor o periodos de calor fue menor que la de diciembre. Asimismo, a partir de enero SINCA no registró temperaturas máximas superiores a los 35°C.

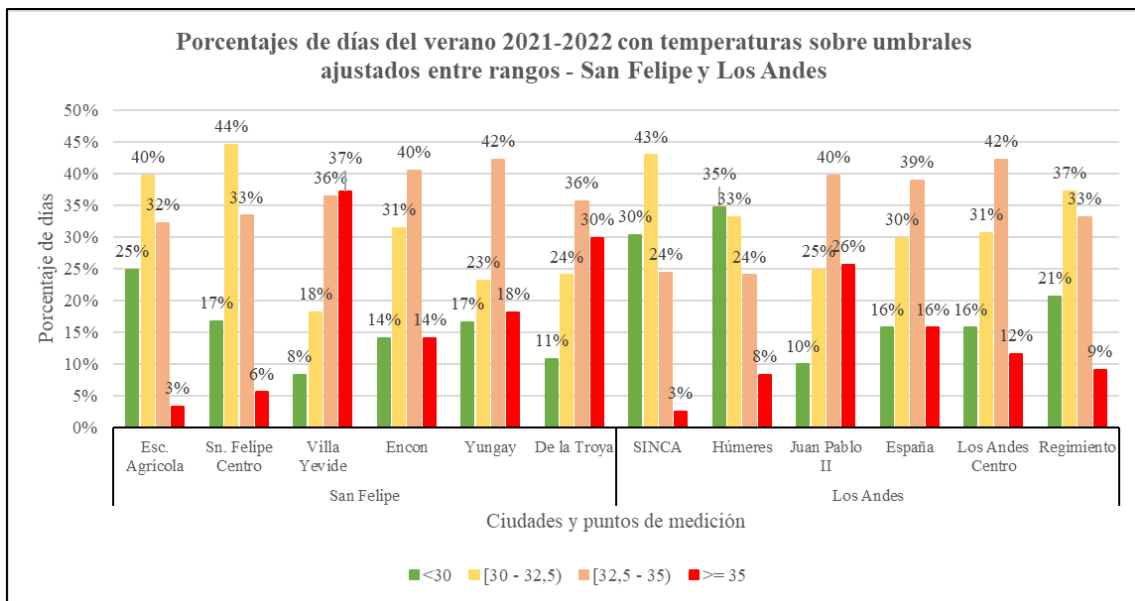
Febrero se caracterizó por el descenso de temperaturas máximas respecto al mes anterior. Aquella baja se expresó mediante el aumento del 15% promedio, a escala ciudad, de temperaturas máximas inferiores a los 30°C, siendo dicho indicador mayor en SINCA con un 43% y en Húmeres con un 46% (ver tabla del anexo 18).

Por último, en Marzo se destacó el aumento del 12% de la frecuencia de días con temperaturas máximas inferiores a los 30°C. Dicho incremento se presentó en todos los

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

puntos, excepto en SINCA, que disminuyó en un 4%. También se resalta la baja cantidad de días con máximas térmicas mayores o iguales a los 35°C, las cuales solamente fueron registradas en Juan Pablo el 2 de marzo con 35,7°C, y en Los Andes Centro el 14 de marzo con 35°C.

Figura 19: Porcentaje de días del verano 2021-22 con temperaturas máximas (TMAX) sobre umbrales térmicos ajustados entre rangos, de las ciudades de San Felipe y Los Andes



3.1.3.2. Horas consecutivas superiores a los umbrales térmicos de 30, 32,5 y 35°C en las ciudades de San Felipe y Los Andes

Durante la temporada de verano 2021-22 el promedio de horas consecutivas con temperaturas superiores o iguales a los 30°C fue de 18,5% en toda la ciudad, equivalente a una media de 4 horas y 20 minutos por día. Sin embargo, al ajustar las proporciones de horas consecutivas cálidas durante las jornadas diurnas, esta alcanzó un promedio del 33% (ver tabla 16).

El mes más cálido de la temporada de verano fue diciembre, que alcanzó un promedio de casi 5 horas y 18 minutos consecutivos con valores térmicos mayores o iguales a los 30°C por día. El sector suroeste, representado por Villa Yevide) es el más cálido de la ciudad bajo este indicador, ya que durante el mismo marcó un promedio de 6 horas y 46 minutos de horas cálidas sucesivas, es decir, que comparativamente registró 1,5 horas más que la media de la ciudad y casi 3 horas más que Escuela Agrícola, que obtuvo un promedio de 16,8% durante diciembre. Otro sector con tardes calurosas es la periferia este de San Felipe, que en el transcurso del verano mantuvo casi la misma cantidad de horas cálidas consecutivas que en Villa Yevide, siendo inclusive mayor durante febrero, que alcanzó 20,4% versus el 17,3% del punto ubicado en la zona suroeste (ver tabla del anexo 19).

En cuanto a las temperaturas superiores o iguales a los 35°C, se aglutinaron mayormente en diciembre, con un promedio de 4,2% a nivel ciudad, equivalente una media de 1 hora

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

por día y 2 horas en Villa Yevide, el punto con la mayor cantidad de horas consecutivas cálidas. Durante el transcurso del cuatrimestre la proporción de horas extremadamente cálidas fue bajando, alcanzando un promedio de ciudad del 2%.

Durante el verano, la cantidad promedio de horas con temperaturas superiores o iguales a los 30°C, en términos porcentuales, fue del 17,7%, similar a la media de San Felipe aunque menor, estimativamente con 11 minutos menos en Los Andes. No obstante, las diferencias en los valores de estos indicadores entre los puntos de Los Andes fueron menor.

A pesar de ser unos de los puntos más frescos de la ciudad respecto a su temperatura media cuatrimestral, especialmente en cuanto a sus mínimas térmicas, el sector suroeste (Juan Pablo II) fue el que registró la mayor cantidad de horas consecutivas superiores a los 30°C (ver tabla 16). Aquello se puede asociar al tipo de construcción y cobertura del área en cual está ubicado este punto, que prácticamente es un conjunto residencial de casas de 1-2 plantas altamente densificada, lo que puede permitir un mayor calentamiento durante las horas de sol (Picone, 2014), pero al estar cercano a áreas de cultivo agrícola, debido a la dinámica de brisas locales (Smith & Andrade, 2013), se genere una alta amplitud térmica diaria.

En el transcurso del verano la proporción de horas cálidas consecutivas fue bajando, pasando del pico de 22% en diciembre a un 10% en marzo. Se destaca un importante descenso de este porcentaje de horas en Húmeres, siendo el punto que concentró la mayor cantidad de horas cálidas en diciembre (26,7%, equivalente a 6 horas y 24 minutos) al de menor en marzo (4,7%, equivalente a 57 minutos, aproximadamente) (ver tabla del anexo 20).

Tabla 16: Porcentaje de horas sobre umbrales de temperaturas superiores o iguales a los 30, 32,5 y 35°C, durante el verano 2021-2022 en los puntos de medición de San Felipe y Los Andes

	Puntos	U-hs >=30°C	U-hs >=32,5°C	U-hs >=35°C
San Felipe	Esc. Agrícola	14,0%	3,4%	0,1%
	Sn. Felipe Centro	18,0%	5,5%	0,5%
	Villa Yevide	21,4%	12,0%	4,8%
	Encon	17,6%	7,4%	1,3%
	Yungay Norte	19,0%	9,0%	2,0%
	De la Troya	21,0%	11,1%	3,3%
Los Andes	SINCA	15,3%	4,4%	0,3%
	Húmeres	17,5%	7,1%	0,9%
	Juan Pablo II	20,3%	10,9%	2,7%
	España	18,1%	8,0%	1,3%
	Los Andes Centro	17,8%	7,9%	1,0%
	Regimiento	17,3%	6,0%	0,8%

3.1.3.3. Olas de calor y periodos cálidos del cuatrimestre de verano 2021-22

Una ola de calor se define como al evento donde cuyas temperaturas máximas superan, durante tres días o más el percentil mensual climatológico. Para el estudio y monitoreo de las olas de calor (ODC en adelante) y periodos cálidos del verano 2021-22 por puntos, se utilizó la nueva metodología adoptada por la Dirección Meteorológica de Chile. Este método consiste en aplicar el percentil 90 diario climatológico de una estación meteorológica de referencia, en vez del percentil 90 mensual, que básicamente busca evitar una subestimación o sobrestimación de las olas de calor al inicio o final de cada mes, en especial en los meses de cambio estacional tales como marzo, junio, septiembre y diciembre. Por otro lado, un *periodo cálido*, cuya definición tradicional pero bajo la nueva metodología, corresponde a un evento meteorológico donde las temperaturas máximas superan durante seis días o más el percentil 90 diario climatológico (Dirección Meteorológica de Chile, 2020).

Para la aplicación del estudio y monitoreo de ODC es necesario que la estación meteorológica de referencia cuente con información climatológica que presente una temporalidad igual o superior a 30 años. En este caso, se utilizó la base de datos de la estación meteorológica de la Escuela Agrícola de San Felipe, que cuenta con datos de temperaturas del aire desde 1981.

No se hizo uso de los datos históricos de la estación SINCA de Los Andes, que a pesar de haber sido inaugurada en 2007, sus mediciones iniciaron en diciembre del 2009, presentando además un vacío de datos de casi tres años, que comprendió entre mayo del 2010 hasta febrero del 2013. Dado esto, se usó exclusivamente como referencia la información histórica de la estación de Escuela Agrícola de San Felipe el estudio y monitoreo de las ODC y periodos cálidos de los puntos de Los Andes.

El verano 2021-22 en San Felipe y Los Andes se caracterizó por un inicio de temporada cálido, con temperaturas sobre lo normal en diciembre. Posteriormente los valores térmicos han ido descendiendo paulatinamente, llegando a cifras levemente negativas respecto a las medias climatológicas. En síntesis, la sección alta del valle del Aconcagua tuvo máximas térmicas más altas de la media, con anomalías superiores a $+0,3^{\circ}\text{C}$, mientras que las mínimas estuvieron por debajo lo normal, cuya diferencia promedió los $-0,5^{\circ}\text{C}$.

Por lo tanto, el mes que registró la mayor frecuencia de días sobre el umbral de olas de calor (UODC en adelante), ODC y periodos cálidos fue diciembre, con un 73% promedio entre todos los puntos. Además, fue el único mes que anotó la única ODC en la estación de referencia, sin embargo, se evidenció una notoria diferencia en las frecuencias de días sobre el UODC en los distintos puntos de ambas ciudades. En la tabla 17 se muestran la cantidad de días sobre este umbral de cada punto de medición de las dos ciudades.

Tabla 17: Número de días con temperaturas máximas sobre el UODC de cada punto de medición.

Ciudad	Punto	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Total
San Felipe	Escuela Agrícola	6	0	0	0	6
	San Felipe Centro	7	0	0	0	7
	Villa Yevide	17	13	3	9	42
	Encon	11	1	2	0	14
	Yungay Norte	12	5	3	0	20
	De la Troya	18	11	4	2	35
Los Andes	SINCA	4	0	0	0	4
	Húmeres	8	3	0	0	11
	Juan Pablo II	19	6	4	1	30
	España	14	5	0	0	19
	Los Andes Centro	11	1	0	1	13
	Regimiento	6	3	2	0	11

En referencia a lo expuesto en la tabla 18, es posible afirmar una notoria diferencia en la distribución de ODC por puntos. En la ciudad de San Felipe, el sector de Villa Yevide, ubicado en la zona suroeste, fue el sitio que registró el mayor número de ODC, donde además anotó el periodo de onda cálida de mayor duración en la ciudad, que perduró 12 días, comprendido entre el 3 y el 14 de enero del 2022, cuya temperatura promedio del periodo fue de 36,1°C y el pico más alto se registró el 7 de enero a las 15 horas, marcando 37,3°C. En la tabla 18 se muestra el cuadro resumen de las ODC y periodos cálidos, este último resaltado con color amarillo mostaza, producidas en los puntos de medición de San Felipe.

Tabla 18: Cuadro resumen de las olas de calor y periodos cálidos producidos durante el verano 2021-22 en los puntos de medición de San Felipe

Punto	N° de olas de calor - San Felipe							
	N°	Mes	Inicio	Término	N° de días	T° máx prom.	T° máx más alta	Fecha
Escuela Agrícola	1	Dic	18/12/2021	20/12/2021	3	35,7	36,6	19/12/2021
San Felipe Centro	1	Dic	18/12/2021	21/12/2021	4	35,5	36,3	19/12/2021
Villa Yevide	1	Dic	4/12/2021	9/12/2021	6	35,8	37,9	5/12/2021
	2	Dic	17/12/2021	21/12/2021	5	38,6	40,7	20/12/2021
	3	Dic	24/12/2021	28/12/2021	5	36,4	37,1	26/12/2021
	4	Ene	3/1/2022	14/1/2022	12	36,1	37,3	7/1/2022
	5	Mar	13/3/2022	15/3/2022	3	35,9	36,3	13/3/2022
Encon	1	Dic	17/12/2021	21/12/2021	5	36,2	37,2	20/12/2021
	2	Dic	24/12/2021	26/12/2021	3	35,6	36,1	25/12/2021
Yungay Norte	1	Dic	17/12/2021	21/12/2021	5	36,1	37,6	19/12/2021
	2	Dic	24/12/2021	26/12/2021	3	35,5	35,9	26/12/2021
De la Troya	1	Dic	4/12/2021	6/12/2021	3	36,7	38,3	5/12/2021
	2	Dic	17/12/2021	22/12/2021	6	36,9	38,6	19/12/2021
	3	Dic	24/12/2021	28/12/2021	5	35,7	36,4	25/12/2021

En la ciudad de Los Andes se evidenció, también, una clara diferencia en la distribución espacial en las frecuencias de ODC, aunque en menor grado que con respecto a San Felipe. La ODC de mayor duración, que teóricamente es un periodo cálido, se registró en Juan Pablo II. Ésta tuvo una duración de 12 días, comprendidos entre el 15 y 26 de diciembre de 2021, cuya máxima térmica del periodo ocurrió el 20 de diciembre con 38,2°C. No obstante, la temperatura más calurosa observada dentro de una ODC sucedió en el punto España, cuyo valor alcanzó los 38,3°C, que además cumple con el récord de

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

la temperatura más alta de la ciudad del periodo de verano 2021-22. En la tabla 19 se muestra el cuadro resumen de las ODC y periodos cálidos, donde estos últimos están resaltados con color amarillo mostaza.

Tabla 19: Cuadro resumen de las olas de calor y periodos cálidos producidos durante el verano 2021-22 en los puntos de medición de Los Andes

Punto	N° de olas de calor - Los Andes							Fecha
	N°	Mes	Inicio	Término	N° de días	T° máx prom.	T° máx más alta	
SINCA	1	Dic	19/12/2021	21/12/2021	3	35,3	35,6	20/12/2021
Húmeres	1	Dic	18/12/2021	22/12/2021	5	36,3	37,3	19/12/2021
Juan Pablo II	1	Dic	4/12/2021	6/12/2021	3	36,2	38,1	5/12/2021
	2	Dic	15/12/2021	26/12/2021	12	36,5	38,2	20/12/2021
	3	Ene	4/1/2022	7/1/2022	4	36,1	37,4	7/1/2022
España	1	Dic	4/12/2021	6/12/2021	3	36,3	38,3	5/12/2021
	2	Dic	17/12/2021	22/12/2021	6	36,5	38,0	18/12/2021
	3	Ene	6/1/2022	8/1/2022	3	35,7	36,7	7/1/2022
Los Andes Centro	1	Dic	4/12/2021	6/12/2021	3	35,5	37,0	5/12/2021
	2	Dic	18/12/2021	21/12/2021	4	36,3	36,7	20/12/2021
Regimiento	1	Dic	18/12/2021	21/12/2021	4	35,4	36,1	20/12/2021

3.1.3.4. Observación y monitoreo de noches cálidas (tp90 - NC), noches frías (tp10 - NF) y noches tropicales (NT) de la temporada de verano 2021-22 en las ciudades de San Felipe y Los Andes

En esta sección se presentan las estimaciones de noches cálidas y noches frías (NC y NF en adelante). La primera está definida como cuando la temperatura mínima supera al nonagésimo percentil mensual, mientras que la segunda alude al evento cuya mínima térmica se encuentra por debajo del décimo percentil mensual. A través de esto, el objetivo de estos resultados es identificar y monitorear las noches en las que la población, por barrios, pudo haberse visto afectada por estrés térmico. Esta conceptualización está asociada a la definición de ola de calor.

Por otro lado, pero asociado a la temática presentada en esta sección, está el concepto de noche tropical (NT en adelante), que se define como una noche en donde la temperatura mínima es superior o igual a los 20°C (Roye & Ezpeleta, 2016). Sin embargo, es necesario emplear algunas consideraciones respecto a esta definición y a la aplicación de la misma. En primer lugar, las temperaturas mínimas se registran, mayoritariamente, en los minutos previos a la salida del sol, por lo que en regiones extratropicales, como lo es en este caso de estudio, es común que se presenten mínimas térmicas inferiores al umbral mencionado, por lo que este indicador se subestimaría. No obstante, y en segundo lugar, existe una cantidad media de horas nocturnas que superan el percentil 90 y los 20°C respectivos al indicador, que se ubican preferentemente en las primeras horas posterior a la puesta de sol. Por lo tanto y en relación con lo establecido por Roye & Ezpeleta (2016), las primeras horas de descanso son las de mayor sensibilidad en las personas, por ende, en aquel tramo horario, es más propenso sufrir estrés térmico que en las horas posteriores.

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

Dado esto, se realizó el cálculo de la proporción de horas nocturnas tropicales por punto de medición, que busca estimar la magnitud de impacto de las altas temperaturas nocturnas y la variabilidad de las mismas por barrios.

Durante el verano 2021-22 se registraron, en promedio, a escala de ciudad, alrededor de 80 a 90 noches cálidas en San Felipe y Los Andes. Sin embargo, se evidenciaron notorias diferencias respecto a las cantidades de NC. Por ejemplo, Yungay Norte y Villa Yevide registraron más de 100 noches cálidas, 70 más que Escuela Agrícola que se ubica aproximadamente a 2,5 kilómetros de distancia de estos puntos. Otro caso notorio es lo que se evidenció en el centro de Los Andes, que en todas las noches registró temperaturas superiores al nonagésimo percentil del mes respectivo, donde además ostenta del récord de la mínima más alta entre ambas ciudades, registrando 19,4°C a las 6 horas del 25 de diciembre.

Tabla 20: Umbrales de las temperaturas mínimas referidos a la información histórica de la estación meteorológica Escuela Agrícola de San Felipe.

Umbrales	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
TP90	11,7	12,7	12,2	10,6
TP10	9,7	10,9	10,3	8,4

En la tabla 21 se presentan las cantidades y los porcentajes de NC y NF detallados por mes. En ella es posible ver que los meses de diciembre y enero concentraron la mayor cantidad de noches calurosas, que coinciden con las frecuencias de olas de calor producidas durante el verano 2021-22.

En cuanto a las NF, estas se frecuentaron mayoritariamente en los sectores periféricos de ambas ciudades. En el caso de San Felipe, Escuela Agrícola es el punto que registró la mayor cantidad de noches frías de ambas ciudades, siendo además el único punto de ambas ciudades que tuvo un mayor número de noches de frescor que de calor. Por el lado de Los Andes, las periferias suroeste y noreste presentaron las noches más frías de la ciudad, patentando 30 y 24 NF, respectivamente (ver tabla 21).

Tabla 21: Cuadro resumen de las noches cálidas (NC) y noches frías (NF) del verano 2021-22 en los puntos de medición de San Felipe y Los Andes

	Puntos	DIC		ENE		FEB		MAR		Total NC	Total NF	% NC	% NF
		NC	NF	NC	NF	NC	NF	NC	NF				
San Felipe	Escuela Agrícola	11	11	10	9	6	11	10	12	37	43	31%	36%
	San Felipe Centro	22	1	13	0	24	1	21	1	80	3	75%	3%
	Villa Yevide	24	1	27	0	26	0	24	0	101	1	83%	1%
	Encon	20	4	22	3	18	2	18	5	78	14	64%	12%
	Yungay Norte	28	0	28	0	26	0	25	0	107	0	88%	0%
	De la Troya	21	4	22	4	17	3	17	8	77	19	64%	16%
Los Andes	SINCA	20	3	22	2	21	2	20	0	83	7	70%	6%
	Húmeres	30	0	31	0	26	0	29	0	116	0	96%	0%
	Juan Pablo II	18	6	19	7	15	6	9	11	61	30	50%	25%
	España	28	0	27	0	24	1	25	0	104	1	86%	1%
	Los Andes Centro	31	0	31	0	28	0	31	0	121	0	100%	0%
	Regimiento	16	4	20	6	16	5	15	9	67	24	55%	20%

Por último, en cuanto a las estimaciones de noches tropicales (NT), respecto a la cantidad y proporción de horas con temperaturas mayores o iguales a los 20°C, se observó que la ciudad de San Felipe registró, en promedio, 1/4 de horas nocturnas con valores térmicos superiores a dicho umbral térmico, mientras que en Los Andes fue de un poco menos de 1/3.

Villa Yevide es el punto que registra la mayor cantidad de horas nocturnas con temperaturas superiores o iguales a los 20°C, promediando aproximadamente la diferencia de 1 hora y 45 minutos con valores térmicos sobre este umbral que con respecto a Escuela Agrícola (ver tabla 22).

En el caso de Los Andes, la variación de las *horas nocturnas tropicales* entre los puntos de la ciudad fue mayor que en San Felipe. El sector céntrico de la capital provincial registró alrededor de 44,4% de la totalidad de horas nocturnas del verano, es decir, más de 4 horas y media de temperaturas sobre este umbral y más de 2 horas y 20 minutos que en los puntos con las noches más frescas de la ciudad (Regimiento y Juan Pablo II).

Tabla 22: Porcentaje de horas con temperaturas mayores o iguales a 20°C durante el verano 2021-22 en las ciudades de San Felipe y Los Andes

	Punto de medición	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Promedio
San Felipe	Escuela Agrícola	19,0%	20,8%	15,9%	11,1%	16,7%
	San Felipe Centro	23,1%	27,9%	21,8%	17,3%	22,5%
	Villa Yevide	30,6%	40,0%	37,7%	29,6%	34,5%
	Encon	19,7%	23,5%	19,2%	13,5%	19,0%
	Yungay Norte	30,6%	35,8%	27,3%	20,8%	28,6%
	De la Troya	23,5%	29,4%	24,0%	16,7%	23,4%
Los Andes	SINCA	23,9%	23,9%	25,6%	19,1%	23,1%
	Húmeres	48,4%	47,4%	38,0%	34,9%	42,2%
	Juan Pablo II	28,4%	31,6%	26,3%	24,0%	27,6%
	España	41,0%	39,4%	29,9%	26,7%	34,2%
	Los Andes Centro	51,0%	49,4%	40,3%	37,0%	44,4%
	Regimiento	25,2%	24,8%	18,2%	18,2%	21,6%

En cuanto a la cantidad de noches tropicales, Roye & Ezpeleta (2016) indican la necesidad de asociar las horas de estrés térmico, vinculadas con el umbral de temperatura mencionado anteriormente, con la primera fase del descanso que respectivamente es la de mayor sensibilidad. Por lo tanto, para la estimación y observación de las NT, se calculó la cantidad de noches que hayan igualado o superado los 20°C en al menos el 40% de las horas nocturnas.

La frecuencia de NT de la ciudad de San Felipe osciló entre 4 noches en Encon y 6 en Escuela Agrícola, a 48 en Villa Yevide. Por el lado de Los Andes, las variaciones y las frecuencias de las NT fueron mayores. Por ejemplo, el casco histórico de la ciudad ostentó la mayor cantidad de noches tropicales de las ciudades de estudio (61 ocasiones), mientras que en las periferias noroeste, este y suroeste de Los Andes patentaron alrededor de 12 a 17 NT (ver tabla 23).

En los meses de diciembre y enero se presenciaron la mayor cantidad de horas nocturnas superiores o iguales a los 20°C por noche, potenciándose más en Los Andes. Esto está vinculado con los eventos de olas de calor que se presentaron en dichos meses. Por

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

ejemplo, entre el 18 y 28 de diciembre en Los Andes Centro registró en promedio alrededor del 70% de horas nocturnas superiores o iguales a 20°C, esto quiere decir, que hasta a las 3 de la madrugada se registró temperaturas sobre ese umbral.

Además, otro aspecto destacable fue la duración consecutiva de las NT. Entre el 2 y el 15 de enero del 2022 se observó la mayor racha de noches tropicales del verano, registrada en tres puntos de Los Andes: Centro, España y Húmeres. El primero tuvo un promedio del 64% de las horas nocturnas, el segundo un 54% y el tercero un 59%. En suma de esto, el centro de la ciudad registró la única noche tropical completa de los doce puntos de medición, es decir, que durante todo el segmento nocturno se observaron temperaturas mayores o iguales a los 20°C. Esto ocurrió el 8 de enero, donde cuya mínima térmica diaria de dicha jornada fue de 18,7°C a las 8 horas.

Posteriormente, las frecuencias de NT bajaron considerablemente durante la segunda mitad de la temporada, destacándose la racha de 7 noches tropicales consecutivas entre el 3 y el 9 de febrero 2022 en Los Andes Centro.

Tabla 23: Número de noches tropicales (NT), estimadas durante el verano 2021-22, en los puntos de medición de San Felipe y Los Andes

Punto de medición		Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Total
San Felipe	Escuela Agrícola	2	4	0	0	6
	San Felipe Centro	8	2	0	1	11
	Villa Yevide	12	21	9	6	48
	Encon	2	2	0	0	4
	Yungay Norte	11	15	1	0	27
	De la Troya	3	12	1	0	16
Los Andes	SINCA	8	7	0	0	15
	Húmeres	19	22	12	5	58
	Juan Pablo II	8	9	0	0	17
	España	15	16	5	0	36
	Los Andes Centro	16	23	13	9	61
	Regimiento	7	5	0	0	12

3.2. Análisis de los valores de humedad relativa del aire durante el verano 2021-2022

La humedad relativa del aire es uno de los parámetros meteorológicos más considerados dentro de los estudios de climatología urbana, ya que este indicador se ve muy alterado a los efectos urbanos y a los cambios de los usos de suelo (Picone, 2014). La relación entre la humedad relativa del aire y la temperatura atmosférica es preferentemente inversa, donde además, en consecuencia de aquello, cuando se genera isla de calor también se genera isla de sequedad (Smith & Andrade, 2013).

Los datos de las mediciones de humedad relativa del aire se recopilaron a través de los Datalogger iButton, los cuales fueron sincronizados a la par de los registros de temperaturas, permitiendo facilitar tanto los análisis vinculados entre ambos parámetros, como también la generación del índice de confort térmico ambiental HUMIDEX. A diferencia de los resultados de comportamiento térmico urbano expuestos en el gramado anterior, los valores promedio horarios fueron similares entre los cuatro meses de

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

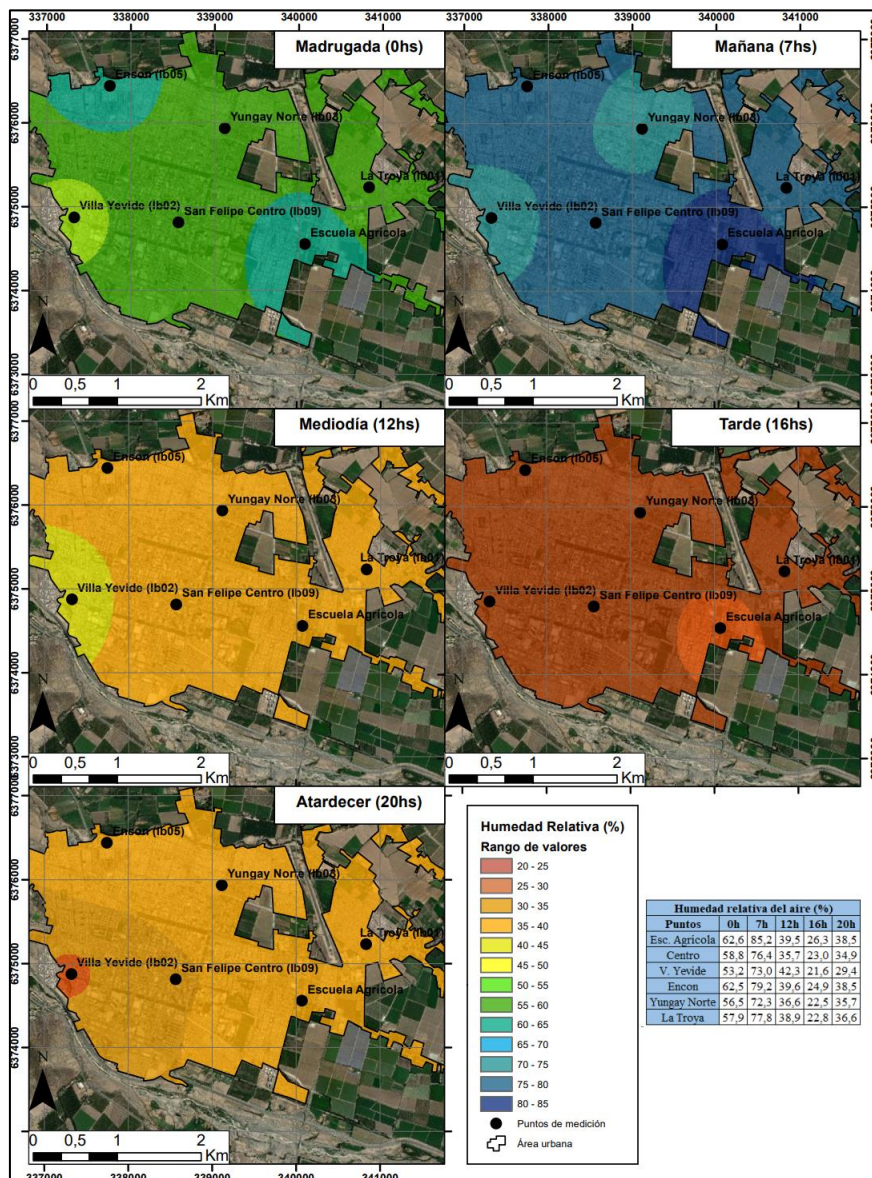
medición, por lo que para la descripción y análisis se consideraron los valores higrícos medios por hora durante el verano 2021-22.

En cuanto a la distribución espacial de la humedad relativa del aire de la ciudad de San Felipe, durante la medianoche los mayores valores de humedad se concentraron en los sectores este (Escuela Agrícola) y noroeste (Encon), mientras que por otro lado, la periferia suroeste (Villa Yevide) registró las cifras de humedad más bajas en dicho horario (ver figura 20). Posteriormente durante el amanecer, la mayor concentración higríca de la ciudad coincidió preferentemente con los sitios de menores temperaturas, observando que en Escuela Agrícola obtuvo una media del 85% de humedad relativa a las 7 horas.

Debido al lento calentamiento de las áreas del suroeste de San Felipe, la humedad relativa disminuyó de forma más progresiva que en comparación con el resto de la ciudad, registrando un 42% de humedad en Villa Yevide al mediodía (ver figura 20 y tabla del anexo 21).

Durante las horas de la tarde se observó una menor diferenciación respecto a los valores de humedad entre todos los puntos. Consecuentemente, en el atardecer y a medida la ciudad se va enfriando de manera diferenciada, la evolución de las concentraciones higrícas comienza a ser más variada, siendo nuevamente las periferias noroeste y este las áreas más húmedas de la ciudad.

Figura 20: Evolución de la humedad relativa del aire por secciones horarias, en la ciudad de San Felipe durante el verano 2021-22.



Con respecto a la ciudad de Los Andes, se observó que la distribución espacial de la humedad relativa del aire fue más heterogénea que en San Felipe, pero con contenidos hídricos inferiores. Aquello puede venir dado por condiciones climáticas mesoescalares, tal como lo es la cercanía a la Cordillera de los Andes, que inciden en las dinámicas de brisas que afectan la ciudad (Sarricolea & Martín-Vide, 2014).

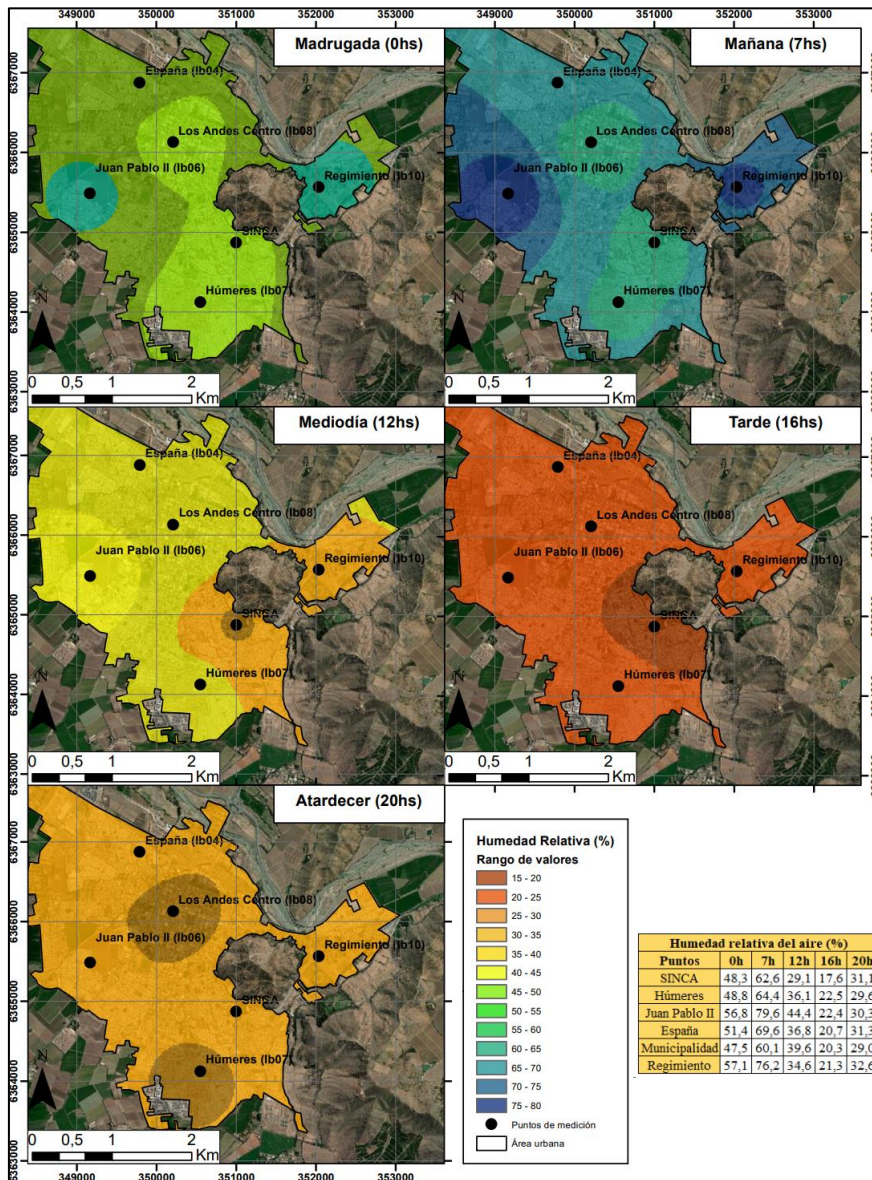
En resumen se destacaron dos *núcleos secos* durante el verano 2021-22 en Los Andes. El primero se ubicó en el centro urbano de la ciudad, prolongándose por 13 horas entre las 20 y las 8 horas. El segundo se trasladó al este (SINCA), extendiéndose en las 11 horas restantes (ver tabla del anexo 22).

La periferia suroeste es la que concentra las cifras más altas de humedad (ver figura 21). El punto de medición de Juan Pablo II se encuentra ubicado en un área residencial de construcciones compactas y de baja altura, no obstante, dicho conjunto habitacional está

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

rodeado por predios de cultivos agrícolas, lo que incidiría en los enfriamientos de las masas de aire, permitiendo así el aumento de la humedad en mencionado sector. Esto también se observó de manera similar en Regimiento, ya que aquella zona al estar constituida por cubiertas de suelo de tipo desnudo o de plantas bajas, en las horas del atardecer, noche y amanecer, las temperaturas son menores y por ende su humedad es mayor.

Figura 21: Evolución de la humedad relativa del aire por secciones horarias, en la ciudad de Los Andes durante el verano 2021-22.



3.3. Análisis del confort térmico ambiental del verano 2021-22, a través del índice HUMIDEX

3.3.1. Confort térmico ambiental de la ciudad de San Felipe

Estudiar la distribución del confort térmico ambiental nos permite poder entender el comportamiento de los parámetros meteorológicos en el interior de una ciudad. El índice HUMIDEX busca estimar la temperatura efectiva que la persona percibe bajo ciertas condiciones de temperatura y humedad (Picone & Campo, 2014).

En los análisis de este indicador se distinguieron los valores medios de HUMIDEX mensual total y los valores horarios medios, haciendo hincapié preferentemente en las horas diurnas. En general, no se evidenciaron grandes diferencias respecto a las cifras del indicador. Sin embargo, se demostraron importantes disimilitudes entre los distintos puntos de la ciudad al estimar los números de días cuyo con promedios diarios superiores a 30 ($\text{HUMIDEX} \geq 30$), como también con respecto a las proporciones de horas registradas con algún desconfort (30-39) y/o gran desconfort (40-45).

En términos generales, las áreas de mayor confort de la ciudad se ubicaron en los sectores este (Escuela Agrícola) y noroeste (Encon), con valores que promediaron los 25 grados (28 grados en las horas diurnas), mientras que las áreas de menor confort se situaron en las zonas suroeste (Villa Yevide) y norte (Yungay Norte), con valores superiores a los 26 grados y casi 30 durante las jornadas diurnas (ver tabla 24).

Debido a que el índice HUMIDEX es muy dependiente a la humedad relativa del aire, los valores medios del indicador variaron, en promedio, casi 4 grados más respecto a las cifras de temperaturas, siendo menor esa diferencia durante las horas de sol, disminuyendo a variaciones de 1 a 2 grados.

Con respecto a la evolución horaria, a partir del mediodía se comenzaron a registrar las primeras horas de desconfort térmico en la ciudad, prolongándose hasta las 20 horas en Villa Yevide, Yungay Norte y De la Troya. Debido a la predominante baja humedad atmosférica, característica la época estival, se observó una baja proporción de horas de gran desconfort, registrándose exclusivamente en Villa Yevide durante la ola de calor del 17 al 21 de diciembre, y durante el periodo cálido de 12 días, entre el 3 y el 14 de enero.

Entre las 12 y las 17 horas, el HUMIDEX de la ciudad promedió los 33 grados, siendo De La Troya el punto donde se observó el mayor desconfort en dicho segmento. No obstante, en el atardecer, entre las 18 y 20 horas, todos los puntos de la ciudad registraron algún desconfort, sin embargo, se evidenció un descenso de 0,1 grados en Villa Yevide, siendo el punto de mayor desconfort (ver tabla 25).

Los meses de diciembre y enero fueron los de mayor desconfort del verano en la ciudad. En cuatro de los seis puntos (Villa Yevide, Encon, Yungay Norte y De la Troya) registraron valores medios de HUMIDEX de horas diurnas superior a 30 durante enero, mientras que en diciembre dicho patrón se observó en V. Yevide y Y. Norte (ver tabla 24).

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

Durante la ola de calor más cálida de la temporada, ocurrida entre el 17 y el 21 de diciembre, se verificó el primer registro de valores superiores a 40, observados en Villa Yevide y De La Troya. No obstante, el día de mayor discomfort sucedió el 12 de enero del 2022. En dicho día, el valor medio de HUMIDEX a escala de ciudad fue de 30,7 en horas totales y de 33,5 en horas diurnas. Además, en mencionado día se registró la mayor cantidad de horas consecutivas de gran discomfort (40-45) del verano en la ciudad, observado en Villa Yevide, que entre las 15 y 19 horas promedió un valor de 41.

Los valores de HUMIDEX descendieron durante los meses de febrero y marzo, alcanzando un 78 y 56,5% de horas confortables en el segmento total y en el tramo diurno, respectivamente en el último mes de la temporada.

Tabla 24: Resumen índice HUMIDEX del verano 2021-22 de la ciudad de San Felipe

Tabla resumen - Índice HUMIDEX calculado para los puntos de medición de la ciudad de San Felipe durante el verano 2021-22						
Puntos de medición	Sección horaria	Promedio HUMIDEX	Nro. de días >30*	% días >30	% Hs confortables (20-29)	% Hs con algún discomfort (30-39)
Escuela Agrícola	Hs totales	24,5	1	0,8%	70,5%	29,5%
	Hs diurnas	28,0	45	37,5%	47,7%	52,6%
San Felipe Centro	Hs totales	25,6	3	3,0%	67,5%	32,4%
	Hs diurnas	28,8	45	43,5%	42,1%	56,3%
Villa Yevide	Hs totales	26,4	17	13,9%	65,6%	33,7%
	Hs diurnas	28,8	54	44,7%	44,3%	54,0%
Encon	Hs totales	25,5	5	4,0%	67,7%	32,3%
	Hs diurnas	28,8	57	47,4%	43,0%	57,3%
Yungay Norte	Hs totales	26,5	16	13,1%	65,9%	34,6%
	Hs diurnas	29,3	61	50,6%	39,9%	59,7%
De la Troya	Hs totales	25,7	7	5,6%	67,1%	32,9%
	Hs diurnas	29,0	58	48,2%	42,3%	57,9%

Tabla 25: Valores medios de HUMIDEX de los puntos de medición de San Felipe en tramos horarios diurnos

Segmento / Puntos	Mañana (7-11 hs)				Tarde (12 - 17hs)				Atardecer (18 - 20hs)			
	T(°C)	HR (%)	HUMIDEX	Dif	T(°C)	HR (%)	HUMIDEX	Dif	T(°C)	HR (%)	HUMIDEX	Dif
Esc. Agrícola	16,3	66,3	20,8	4,5	29,1	30,2	31,7	2,7	27,3	33,1	30,3	3,0
Centro	17,8	62,4	22,7	4,9	30,2	27,3	32,3	2,1	27,8	29,7	30,1	2,2
V. Yevide	16,3	66,2	21,4	5,1	30,1	28,5	32,4	2,3	30,5	25,7	32,3	1,8
Encon	16,7	66,9	21,8	5,1	30,0	29,7	32,6	2,7	27,8	32,9	30,9	3,1
Yungay Norte	18,3	59,8	23,1	4,8	30,6	27,0	32,8	2,2	28,2	31,0	30,9	2,7
La Troya	16,2	67,4	21,1	4,9	30,8	27,7	33,1	2,3	28,9	30,6	31,7	2,7

3.3.2. Confort térmico ambiental de la ciudad de Los Andes

Los valores medios de HUMIDEX de Los Andes oscilaron entre los 23,6 y 26,4 en horas totales, y entre 27,5 y 28,8 en horas diurnas. Las zonas de *mayor confort* se ubicaron preferentemente en los sectores este y noreste, constituidos por áreas abiertas y de baja densidad en sus construcciones. Por otro lado, se evidenció que no hubo grandes diferenciaciones respecto a los sectores de *mayor discomfort*, mostrando cifras parejas.

Debido a la baja humedad relativa del aire de Los Andes, los valores de HUMIDEX fueron relativamente cercanos a los valores de temperaturas, y comparativamente más bajos que los obtenidos en los puntos de medición de San Felipe.

Las horas previo al mediodía fueron fundamentalmente confortables, promediando alrededor de 22 grados del indicador respectivo (ver tabla 27). Sin embargo, durante los meses de diciembre y enero se observó que el inicio de las primeras horas de *discomfort* empezó a las 11 de la mañana en Húmeres y Regimiento, promediando 26 grados en ambos puntos durante dicho segmento.

A partir del mediodía, prácticamente toda la ciudad ya se encontraba en estado de *discomfort*, prolongándose dicha situación hasta las 20 horas. En este tramo horario las zonas de mayor discomfort se ubicó en el sector suroeste de la ciudad, alcanzando aproximadamente los 33 grados. Posteriormente, en el atardecer los valores de HUMIDEX fueron mayores en el centro de la ciudad. Esto es debido al lento enfriamiento radiativo que se genera en las áreas con mayor densidad construida (tabla 27).

Tal como se mencionó en el punto 3.3.1, los meses de diciembre y enero fueron los más cálidos de la temporada. Durante la primera mitad del cuatrimestre, el 50% de los días, ajustados en las horas diurnas, obtuvieron valores medios de HUMIDEX mayores o iguales a 30. No obstante, dicha proporción baja al 15% si se acoplan a las horas totales. Los puntos que acumulan las mayores proporciones de días con HUMIDEX promedio mayor o igual a 30, como también las cantidades más altas de horas con *algún discomfort*, son Húmeres y Juan Pablo II. En contraparte de esto, SINCA es el sitio que registró la mayor cantidad de horas *confortables*, promediando alrededor de un 80% (ver tabla 26).

Tabla 26: Resumen índice HUMIDEX del verano 2021-22 de la ciudad de Los Andes

Tabla resumen - Índice HUMIDEX calculado para los puntos de medición de la ciudad de Los Andes durante el verano 2021-22						
Puntos de medición	Sección horaria	Promedio HUMIDEX	Nro. de días >30*	% días >30	% Hs confortables (20-29)	% Hs con algún disconfort
SINCA	Hs totales	23,6	0	0,0%	79,4%	20,6%
	Hs diurnas	27,5	26	22,0%	69,3%	36,7%
Húmeres	Hs totales	26,4	19	15,7%	69,2%	30,8%
	Hs diurnas	28,8	55	45,5%	49,2%	50,8%
Juan Pablo II	Hs totales	25,4	7	5,8%	66,5%	33,4%
	Hs diurnas	28,7	54	44,6%	42,3%	57,7%
España	Hs totales	25,8	10	8,3%	69,8%	30,1%
	Hs diurnas	28,5	51	42,1%	49,5%	51,5%
Los Andes Centro	Hs totales	26,0	2	1,7%	72,9%	27,1%
	Hs diurnas	28,1	43	35,5%	54,2%	45,8%
Regimiento	Hs totales	24,9	4	3,3%	70,4%	29,9%
	Hs diurnas	28,3	47	38,8%	47,4%	52,8%

Tabla 27 : Valores medios de HUMIDEX de los puntos de medición de San Felipe en tramos horarios diurnos

Segmento / Puntos	Mañana (7-11 hs)				Tarde (12 - 17hs)				Atardecer (18 - 20hs)			
	T(°C)	HR (%)	HUMIDEX	Dif	T(°C)	HR (%)	HUMIDEX	Dif	T(°C)	HR (%)	HUMIDEX	Dif
SINCA	18,2	49,3	21,6	3,4	29,4	21,5	29,8	0,4	27,6	24,9	27,9	0,4
Húmeres	19,4	54,1	23,7	4,3	29,4	27,5	31,4	2,0	29,1	26,4	30,8	1,7
Juan Pablo II	15,8	69,4	20,8	5,0	30,1	30,3	32,9	2,8	29,6	26,2	31,3	1,7
España	17,9	59,4	22,5	4,6	30,0	26,2	31,7	1,7	28,6	26,5	30,2	1,6
Municipalidad	18,3	54,3	22,4	4,1	29,0	26,8	30,6	1,6	29,8	24,4	31,0	1,2
Regimiento	18,0	59,1	22,1	4,1	29,9	26,0	31,6	1,7	28,0	27,1	29,5	1,5

3.4. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) del verano 2021-22

El índice NDVI permite estimar la densidad y salubridad de la vegetación de un área determinada, captado a través de una imagen satelital. En esta ocasión, el índice se calculó para el periodo de verano 2021-22 en ambas ciudades estudio. Se clasificó en cinco categorías según la cantidad de vegetación contenida en cada píxel.

Se observó que las áreas de menor densidad de vegetación se ubicaron preferentemente en las áreas céntricas de la ciudad, siendo aún menores en algunas zonas periféricas de ambas ciudades (figura 22). Para estimar con mayor precisión la cantidad de vegetación por punto de medición, se estableció un área de influencia de 300 metros de radio para cada uno. Según Houet & Pigeon (2011), afirman que la complejidad de constituir una superficie de influencia de una estación meteorológica viene dada por las características de las construcciones y por las dinámicas de las capas del aire, no obstante, asegura que un área de radio de 100 a 300 metros es ideal para interpretar condiciones meteorológicas homogéneas.

Mediante NDVI podemos conocer la importancia que presenta la vegetación como componente influyente en el comportamiento termal, gracias a su capacidad reguladora. Por lo tanto, se estimaron los promedios por área de influencia para cada punto,

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

permitiendo poder vincular con los valores de temperaturas por sitio de medición, evidenciando una disminución del monto de dicho indicador estimado en ambas ciudades.

A priori se permite interpretar una relación entre los núcleos cálidos y las zonas de menor densidad de vegetación, como por ejemplo en Villa Yevide en San Felipe y Húmeres en Los Andes (ver tabla 28).

Figura 22: NDVI de verano 2021-22 de las ciudades de San Felipe y Los Andes

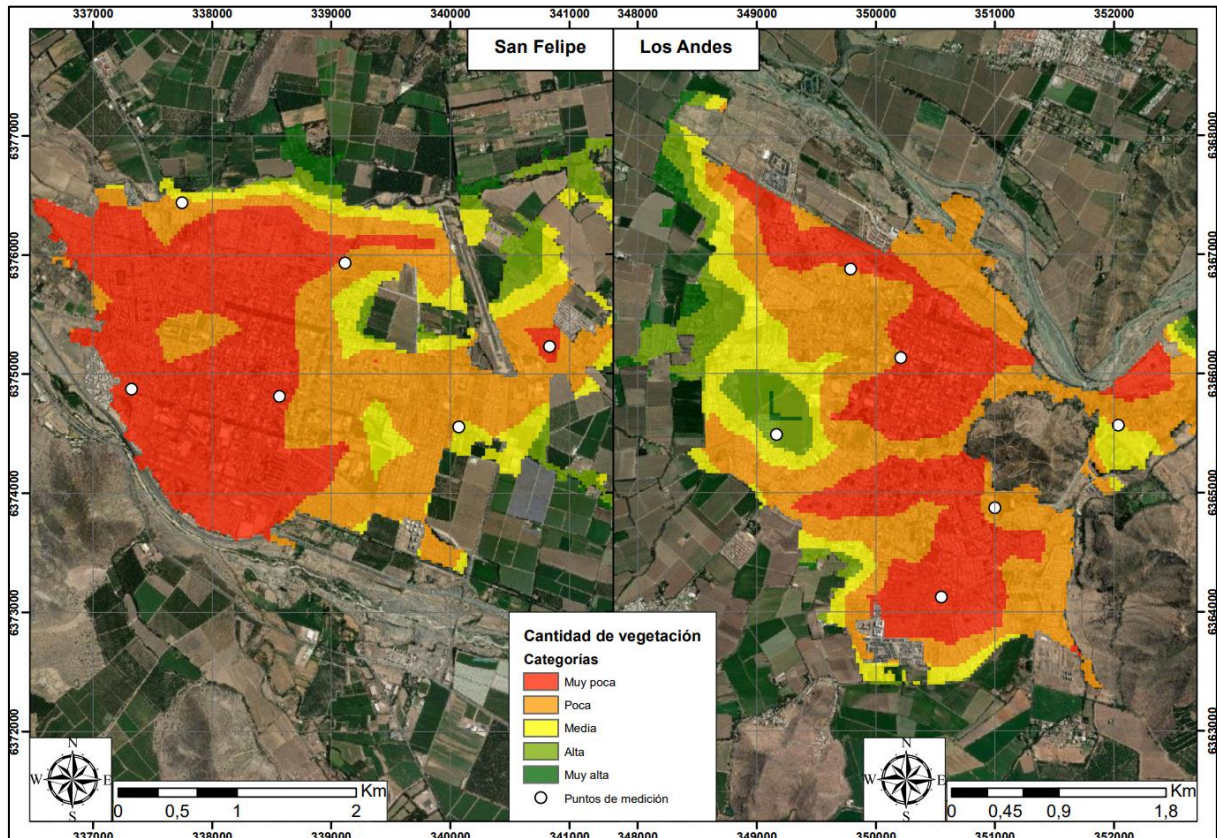


Tabla 28: Valores medios de NDVI, durante el verano 2021-22 en los puntos de medición de San Felipe y Los Andes

	Puntos de medición	Promedio veranos 2002-21	Desvío estándar veranos 2002-21	Promedio verano 2021-22	Desvío estándar verano 2021-22
San Felipe	Esc. Agrícola	0,327	0,056	0,285	0,037
	San Felipe Centro	0,204	0,017	0,188	0,014
	Villa Yevide	0,168	0,012	0,156	0,011
	Encon	0,306	0,086	0,295	0,100
	Yungay Norte	0,236	0,049	0,231	0,052
	De la Troya	0,231	0,013	0,212	0,016
Los Andes	SINCA	0,220	0,022	0,218	0,025
	Húmeres	0,181	0,010	0,171	0,008
	Juan Pablo II	0,441	0,094	0,406	0,070
	España	0,210	0,015	0,208	0,021
	Los Andes Centro	0,193	0,034	0,188	0,029
Regimiento	0,303	0,053	0,282	0,048	

3.5. Catastro de Parques Urbanos del MINVU, accesibilidad a áreas verdes urbanas y estimación de densidad de áreas verdes por ciudad y por zona

Un área verde urbana (AVU en adelante) se define como una superficie de terreno que destinada fundamentalmente al esparcimiento o desplazamiento peatonal, y que está constituida por espacios públicos como plazas y parques (Centro UC de Políticas Públicas, 2019). Las formas de comprensión de las AVU las debemos abordar desde una perspectiva multifuncional, ya que estas cumplen diversos tipos de funciones sociales y ambientales/ecológicas. El uso de las plazas y parques son de carácter público, pero pueden ser de propiedad pública o privada (INE, 2019).

Respecto a la última actualización del Catastro de Parques Urbanos del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), se estima que la cantidad de metros cuadrados de áreas verdes públicas por habitantes de las áreas urbanas de San Felipe y Los Andes son de 4,8 y 11,5 m²/hab., respectivamente. Por ende, solamente San Felipe posee una proporción de áreas verdes por persona menor a los 9 m²/hab., establecidos por Organización Mundial de la Salud (OMS), e inferior a los 10 m²/hab., dictados por el Consejo Nacional de Desarrollo Urbano (CNDU) (Centro UC de Políticas Públicas, 2019)

Se estima una cantidad de 101 AVU de carácter público y privado en la ciudad de San Felipe. El 90% de las AVU no superan los 5000 m², por lo que las áreas de influencias de las mismas no son significativas. En el caso de Los Andes, existen alrededor de 105 AVU, siendo una importante mayoría de tamaños intermedios (66%) (ver tabla 29).

El índice de Accesibilidad (IAC) a las áreas verdes consiste en la proporción de habitantes que reside a menos de 300 metros de AVU de superficies mayores o iguales a 5000 m² (Reyes & Figueroa, 2010). Alrededor del 40% de la población de la ciudad presenta accesos a áreas verdes de mayores tamaños (ver tabla 29).

Por otro lado, a pesar de que la superficie de AVU por habitante es mayor en Los Andes que en San Felipe, solo el 14% de su población tiene acceso a áreas verdes de gran tamaño. Esto se puede asociar debido de que el 81% de la superficie de las AVU mayores o iguales a 5000 m² se concentran solamente en el Parque urbano del Cerro La Virgen, cuyo sitio de acceso se encuentra por el sur del mismo a través de la avenida Enrique de La Fuente, convirtiéndose un factor que influye de manera directa en la accesibilidad al parque.

En cuanto a los distritos censales, se distinguió una notoria heterogeneidad respecto a los indicadores de accesibilidad de San Felipe. Los sectores norte, este y noreste son los que presentan la mayor cantidad de áreas verdes urbanas por persona. Sin embargo, el distrito que presentó el mayor valor del índice de Accesibilidad se ubica en el oeste de la ciudad. Esto es debido al gran número de residentes que habitan a menos de 300 metros de los tres parques que superan los 5000 m² (ver tabla 30).

Chacabuco es el distrito de Los Andes que patenta la mayor cantidad de superficie de AVU por habitante, destacando el importante número de plazas pequeñas e intermedias situadas en los conjuntos residenciales emplazados en el sector sur del mismo. Por otro lado, el distrito Estación de la ciudad de Los Andes es el que registra el mayor IAC de la

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

ciudad. Esto es debido a que en el mismo se ubican los parques de la Avenida Argentina, la Plaza de Armas y el Parque Ambrosio Rodríguez (ver tabla 30).

Se estableció el porcentaje de áreas verdes urbanas por habitantes, considerando el área de influencia de 300 metros de radio para cada punto de medición. Se observó notorias diferencias respecto al número de AVU, como a la proporción de la misma¹⁴.

En San Felipe el área de influencia que presenta la mayor proporción de áreas verdes por habitantes corresponde a San Felipe Centro. Dentro de dicha área de influencia se encuentran dos parques de más de 5000 m², correspondientes a la Plaza de San Felipe y a la sección sur del Parque de Los Dinosaurios. De manera contraria, Villa Yevide es el punto que aglomera la menor cantidad de áreas verdes urbanas por persona, cuyo valor se estima que es de 3,47 m²/hab. (ver tabla 31). Por otro lado, las diferencias del tamaño metros cuadrados de áreas verdes por personas en Los Andes es menor. En primer lugar, se destaca los 11,33 m²/ hab. estimados en SINCA, siendo el único punto cuya área de influencia supera los límites estipulados por la OMS y por el CNDU (ver tabla 31)

Tabla 29: Número, porcentaje y accesibilidad a las AVU (m²/hab. e IAc) de las ciudades de San Felipe y Los Andes¹⁵¹⁶.

Área urbana de San Felipe			Área urbana de Los Andes		
Rango de tamaño AVU (m ²)	n	%	Rango de tamaño AVU (m ²)	n	%
entre 4 - 999,9	45	44,6%	entre 4 - 999,9	31	29,5%
entre 1000 - 4999,9	46	45,5%	entre 1000 - 4999,9	69	65,7%
mayor o igual a 5000	10	9,9%	mayor o igual a 5000	5	4,8%
Total AVU	101	100%	Total AVU	105	100%
Población urbana ¹	64412		Población urbana ²	60064	
m ² de AVU por habitante	4,8		m ² de AVU por habitante	11,5	
IAc	40,44%		IAc	14,3%	

Tabla 30: Número, porcentaje y accesibilidad a AVU (m²/hab. e IAc) por distrito censal

Ciudad	Distritos censales	[4 - 999,9]	[1000 - 4999,9]	>= 5000	Total AVU	Superficie AVU (m ²)	Población distrito	m ² AVU por hab.	IAc
San Felipe	Almendral	13	10	0	23	23672,5	5588	4,24	0,41%
	Carmen	3	11	2	16	77164,2	14995	5,15	39,37%
	La Escuadra	12	9	5	26	131608,0	22885	5,75	45,10%
	Los Graneros	16	16	3	35	76169,6	21056	3,62	45,94%
	Quilpué	1	0	0	1	697,4	725	0,96	17,93%
Los Andes	Chacabuco	21	34	1	56	381323,0	24881	15,33	10,56%
	Estación	5	7	3	15	187997,6	15342	12,25	27,76%
	La Feria	4	16	1	21	94726,3	11154	8,49	15,05%
	Laberinto	1	12	0	13	23929,1	9108	2,63	0%

¹⁴ No se consideró el índice de accesibilidad por punto

¹⁵ Población urbana de la localidad de San Felipe (1) y de Los Andes (2)

¹⁶ No se consideró el Parque Laguna Tricahue de San Felipe, ya que a pesar de estar ubicado a menos de 1000 metros de la manzana censal más cercana, el acceso al mismo supera los 1200. Por lo tanto, no coincide con el criterio de distancia propuesto por Reyes & Figueroa (2010)

Tabla 31: Estimación de áreas verdes urbanas por habitantes, respecto a las áreas de influencia de los puntos de medición

Ciudad	Punto	n° de AVU	[4 - 999,9]	[1000 - 4.999,9]	<5.000	m2 AVU	n° hab.	% AVU
San Felipe	Esc. Agrícola	8	5	2	1	15484	2631	5,89
	San Felipe Centro	2	0	0	2	47191	969	48,70
	Villa Yevide	4	1	3	0	10926	3147	3,47
	Encon	4	0	3	1	21471	2375	9,04
	Yungay Norte	2	1	0	1	31041	3440	9,02
	De la Troya	10	4	6	0	11343	1941	5,84
Los Andes	SINCA	9	1	7	1	26916	2376	11,33
	Húmeres	17	10	7	0	22766	5271	4,32
	Juan Pablo II	2	0	2	0	3981	3322	1,20
	España	5	3	2	0	6332	3249	1,95
	Los Andes Centro	1	0	0	1	12249	1388	8,82
	Regimiento	0	0	0	0	0	0	0

3.6. Zonas climáticas locales (ZCL) de las ciudades de San Felipe y Los Andes

Se lograron identificar 10 categorías para la ciudad de San Felipe y 11 para la ciudad de Los Andes (ver tabla 32), todas estas son clases puras extraídas de Stewart & Oke (2012).

Dentro de la escala cromática, el grupo de tonos rojos y anaranjados detallan las áreas de mayor densidad construida, los colores grises aluden a áreas industriales, la comunidad de tintes verdes refiere a cubiertas de suelo vegetado, y por último, las coberturas de suelo desnudo, roca y agua están establecidas por los colores amarillo opaco, negro y azul, respectivamente (ver figuras 1 y 2 del anexo 23).

El tipo de edificación que presenta una mayor extensión superficial en ambas ciudades es el *compacto de baja altura*, equivalente al 26 y 40% de San Felipe y Los Andes. Estas están representadas mayoritariamente en las zonas residenciales de las dos áreas urbanas. Por otro lado, la cubierta con mayor proporción es la ZCL D, *plantas bajas*, compuesto fundamentalmente por los extensos predios de cultivos agrícolas que rodean las dos ciudades de estudio (ver tabla 32).

Para conocer, estimativamente, el comportamiento meteorológico de las Zonas Climáticas Locales se combinó con los datos meteorológicos de los puntos de medición obtenidos durante el verano 2021-22.

Tal como se mencionó en la elección de los criterios de localización para los puntos de medición, explicado en el punto 2.1.2.2, la mayoría de estos estuvieron ubicados en viviendas particulares, donde todos corresponden a una zona climática *compacta de baja altura* ZCL 3. Sin embargo, a pesar de lo anterior, cada sitio se encuentra aledaño a diferentes zonas climáticas, permitiendo interpretar diferencias entre los puntos.

Con respecto al comportamiento térmico se elaboró una nomenclatura la relación de este con la zona climática local principal del punto de medición, vinculándolo con los otros tipos de zonas climáticas emplazadas a no más de un radio de 300 metros (Picone, 2014) (ver tabla 33).

Las zonas climáticas compuestas por áreas residenciales compactas y de baja altura, aledañas en parte, con áreas industriales (ZCL 3₈) presentaron las mayores temperaturas en San Felipe, acentuando más aquella diferencia en las horas nocturnas. Esto puede venir dado por la gran capacidad de absorción térmica que tienen ciertos materiales y cubiertas como el cemento, el hormigón y el asfalto, provocando en ellos un lento enfriamiento nocturno. Además, se considera en esta afirmación la baja proporción de áreas verdes de estas zonas climáticas, que además permite volver a sentenciar que la vegetación es un elemento condicionador de la determinación de temperaturas, ya que las ZCL 3_D y 5_D corresponden mayoritariamente a las áreas de frescor de la ciudad (ver tabla 34).

Las zonas climáticas de Los Andes presentaron un comportamiento térmico similar a las ZCL de San Felipe. Nuevamente la ZCL 3_D fue la que tuvo las noches y madrugadas más frescas de la ciudad junto con la zona climática de construcciones dispersas aledañas a cubiertas de suelos desnudo, acompañado de mayores montos de humedad atmosférica (ver tabla 35). A diferencia de San Felipe, en el sector céntrico de Los Andes se visualiza una menor liberación de calor nocturno, traduciendo a noches más cálidas que con respecto al resto de la misma ciudad.

Tabla 32: Superficie de las categorías ZCL en las ciudades de San Felipe y Los Andes

	ZCL Categorías	San Felipe		Los Andes	
		Área (ha)	%	Área (ha)	%
Tipos de edificaciones	ZCL 2	162,6	9,3%	95,0	10,6%
	ZCL 3	461,8	26,3%	360,0	40,1%
	ZCL 5	22,1	1,3%	40,0	4,4%
	ZCL 6	162,5	9,3%	200,6	22,3%
	ZCL 7	6,6	0,4%	--	--
	ZCL 8	112,6	6,4%	84,7	9,4%
	ZCL 9	--	--	37,1	4,1%
Tipos de coberturas	ZCL C	7,1	0,4%	9,7	1,1%
	ZCL D	702,4	40,0%	43,9	4,9%
	ZCL E	12,5	0,7%	3,4	0,4%
	ZCL F	106,2	6,0%	23,6	2,6%
	ZCL G	--	--	0,5	0,1%

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

Tabla 33: Características de las zonas climáticas locales aplicados para los puntos de medición y estaciones meteorológicas.








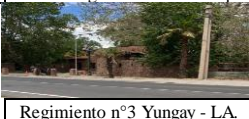
Clasificación	Nombre	Descripción	Comportamiento climático	Puntos representativos	Imagen
ZCL 2	Compacto de media altura	Construcciones compactas de media altura (3 a 6 plantas). Poca vegetación	Baja amplitud térmica diaria. Presencia de <i>islas de frescor</i> durante las primeras hs. de la tarde. Lento enfriamiento radiativo desde el atardecer y noches relativamente cálidas. Baja HR%. Disconfort térmico durante las hs. de la tarde y del atardecer	San Felipe Centro (Ib09) y Los Andes Centro (Ib08)	 San Felipe Centro (Ib09)
ZCL 3	Compacto de baja altura	Edificaciones compactas de baja altura (hasta 3 plantas). Poca vegetación	Baja amplitud térmica diaria. Mañanas (e. 7 y 11hs.) y noches (e. 21 y 23hs.) cálidas, madrugadas más frescas que ZCL 2. Baja HR%. Disconfort térmico entre las 12 y 19hs.	Sur de Los Andes y Oeste de San Felipe - Húmeres LA (Ib07)	 Av. Héctor Humeres (Ib07)
ZCL 3 ₆	Compacto de baja altura con mixturas de construcciones pequeñas y dispersas	Edificaciones de bajo tamaño (hasta 3 plantas) y variada densidad. Poca vegetación	Baja amplitud térmica diaria. Lento enfriamiento radiativo, noches cálidas pero con menores temperaturas que en ZCL3 ₈ . Disconfort térmico entre las 12 y 19hs.	Sección norte de Av. Yungay (SF) y Sección oeste de Av. Esmeralda (LA) - Yungay Norte (Ib03)	 Yungay y Freire - San Felipe
ZCL 3 ₈	Compacto de baja altura aledaños a grandes construcciones bajas, asociadas a áreas industriales	Edificaciones de baja altura (hasta 3 plantas) mezclado con construcciones de mayor tamaño y baja altura. Poca cobertura vegetal	Alta amplitud térmica diaria. Mañanas moderadamente templadas y tardes calurosas. Disconfort entre las 13 y 20hs. Humedad relativa media respecto al resto de la ciudad	Sur y suroeste de San Felipe (V. Yevide - Ib02); Av. San Rafael en Los Andes (España - Ib04)	 Sector sur de San Felipe
ZCL 3 _D	Compacto de baja altura, adyacentes a cubiertas de plantas bajas	Zonas residenciales compactas de baja altura, ubicadas cerca de áreas vegetales de poca altura, como por ejemplo, predios de cultivos agrícolas. Densidad vegetacional media.	Alta amplitud térmica diaria. Madrugadas y mañanas ligeramente templadas, tardes calurosas. Mayor HR%. Disconfort térmico entre las 13 y 19hs.	Canal San Francisco, Av. Michimalongo y Av. Tocornal en San Felipe (Encon y De la Troya; Ib05 - Ib01). Víctor Korner en Los Andes (Juan Pablo II - Ib06)	 Jardines de la Troya - Sn. Felipe
ZCL 5	Abierto de media altura	Construcciones dispersas. Cantidad media de vegetación	Alta amplitud térmica diaria. Disconfort térmico de menor duración (e. 14 y 17hs). Mayor HR%.	Camino a Santa María en San Felipe. SINCA en Los Andes	 Av. P. Baburizza - Los Andes
ZCL 5 _D	Abierto de media altura con fracciones de plantas bajas	Construcciones de baja densidad. Cantidad media-alta de vegetación	Alta amplitud térmica diaria. Mayor HR%. Disconfort térmico entre las 13 y 19hs. Escasas noches cálidas	Escuela Agrícola de San Felipe	 Escuela Agrícola de San Felipe
ZCL 9 _F	Edificaciones dispersas cercanas a áreas de suelo descubierto	Construcciones pequeñas y dispersas ubicadas en áreas naturales	Alta amplitud térmica diaria. Mañanas ligeramente templadas y tardes cálidas. Disconfort térmico entre las 13 y 18hs.	Camino a Putaendo en San Felipe. Camino Internacional en Los Andes (Regimiento - Ib10)	 Regimiento n°3 Yungay - LA.

Tabla 34: Estimación de las temperaturas atmosféricas y humedad relativa del aire promedio por segmentos horarios, en función de cada zona climática de representadas por puntos de medición de la ciudad de San Felipe.

Tipo	Madrugada		Mañana		Tarde		Atardecer		Noche	
	T°C	HR%	T°C	HR%	T°C	HR%	T°C	HR%	T°C	HR%
ZCL 2	15,5	68,0	17,8	62,4	30,2	27,3	27,8	29,7	21,4	47,7
ZCL 3 _D	15,1	69,9	16,4	67,2	30,4	28,7	28,4	31,8	21,0	49,6
ZCL 3 ₆	16,6	64,7	18,3	59,8	30,6	27,0	28,2	31,0	22,0	46,8
ZCL 3 ₈	16,9	63,6	16,3	66,2	30,1	28,5	30,5	30,5	23,7	42,5
ZCL 5 _D	13,9	74,7	16,3	66,3	29,1	30,2	27,3	33,1	20,2	51,3

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

Tabla 35: Estimación de las temperaturas atmosféricas y humedad relativa del aire promedio por segmentos horarios, en función de cada zona climática de representadas por puntos de medición de la ciudad de Los Andes.

Tipo	Madrugada		Mañana		Tarde		Atardecer		Noche	
	T°C	HR%	T°C	HR%	T°C	HR%	T°C	HR%	T°C	HR%
ZCL 2	18,2	54,5	18,3	54,3	29,0	26,8	29,8	24,4	22,8	40,8
ZCL 3	17,7	56,8	19,4	54,1	29,4	27,5	29,1	26,4	23,0	41,3
ZCL 3 _D	15,0	68,6	15,8	69,4	30,1	30,3	29,6	26,2	21,7	44,9
ZCL 3 ₈	16,8	60,2	17,9	59,4	30,0	26,2	28,6	26,5	22,2	42,9
ZCL 5 ₆	15,3	56,2	18,2	49,3	29,4	21,5	27,6	24,9	20,4	41,5
ZCL 9 _F	14,8	67,1	18,0	59,1	29,9	26,0	28,0	27,1	20,5	47,6

3.7. Caracterización y análisis de las variables sociales de las ciudades de San Felipe y Los Andes

3.7.1. Caracterización sociodemográfica

San Felipe y Los Andes se dividen política, administrativa y censalmente en ocho y cuatro distritos censales, distribuidos en cuatro y dos localidades, respectivamente. Para este trabajo nos centraremos en las principales localidades de ambas comunas, denominadas homónimamente y que corresponden a las más populosas (ver tablas 36 y 37)

Tabla 36: División política, administrativa y censal de las comunas de San Felipe y Los Andes.

Comuna	Distrito	Localidad
San Felipe	Los Graneros	San Felipe y El Algarrobal - Pta. del Olivo
	La Escuadra	San Felipe
	Almendral	
	Carmen	
	Quilpué	
	Tierras Blancas	Curimón
	Curimón	San Rafael
San Rafael		
Los Andes	Laberinto	San Rafael
	Chacabuco	
	Estación	Los Andes
	La Feria	

Tabla 37: Número de habitantes por localidad (2017).

Comuna	Localidad	Población
San Felipe	San Felipe	64412
	El Algarrobal - Pta. Olivo	1517
	Curimón	2648
	San Rafael	968
Los Andes	Los Andes	59453
	Laberinto - Sn. Rafael	611

Las provincias de San Felipe de Aconcagua y Los Andes poseen una población total de 154.718 y 110.602 habitantes, respectivamente (INE, 2022). Ambas comunas presentan un número de habitantes de 76.844 y 66.708 habitantes, respectivamente. Además, las áreas de estudio corresponden a las localidades más populosas de las provincias y comunas respectivas. En el caso de San Felipe, representa el 41,6 y 83,8% de la población total provincial y comunal, mientras que en Los Andes equivale al 53,8 y 89,1%, respectivamente.

Respecto a la evolución demográfica, desde el censo 1952 hasta el censo 2017, las comunas experimentaron diferentes intensidades en cuanto a sus tasas de crecimiento intercensal. Dentro de ese periodo, San Felipe posee una tasa media de 2,8%, mientras que en Los Andes es del 2%. Los mayores incrementos se vieron en los segundos y terceros periodos intercensales. Por ejemplo, durante el tramo intercensal 1970-1982, ambas comunas aumentaron su población en un promedio del 5,4 y 4,9%, respectivamente, superiores a las cifras registradas a nivel regional y nacional. Posteriormente, las tasas de crecimiento han ido disminuyendo progresivamente, siendo más notorio en la comuna de Los Andes, donde tuvo una tasa de crecimiento durante el periodo intercensal 2002-2017 de un 0,7%, muy inferiores con respecto las tasas medias de San Felipe (1,3%), Región de Valparaíso (1,2%) y Chile (1,1%). En la tabla 37 se visualizan las dinámicas de crecimiento en función de sus tasas de crecimientos intercensales.

Tabla 38: Dinámicas de crecimiento en función de la población censal estimada y población futura proyectada desde la base del Censo 2017. Fuente: Elaboración propia, en base a INE (2022).

		San Felipe	Los Andes	Región de Valparaíso	Chile
Censos	1952	16848	21131	677487	5932995
	1960	20151	21617	824936	7374115
	1970	27085	25681	973988	8884768
	1982	44730	40743	1210077	11329736
	1992	54591	49747	1394638	13358703
	2002	64126	60198	1539852	15116435
	2017	76844	66708	1815902	17574003
Población estimada 2022*		85270	68602	1995538	19828563
Tasas de crecimiento intercensales	1952-1960	2,5%	0,3%	2,7%	3,0%
	1960-1970	3,4%	1,9%	1,8%	2,0%
	1970-1982	5,4%	4,9%	2,0%	2,3%
	1982-1992	2,2%	2,2%	1,5%	1,8%
	1992-2002	1,7%	2,1%	1,0%	1,3%
	2002-2017	1,3%	0,7%	1,2%	1,1%
Tasa estimada 2017-2022*		2,2%	0,6%	2,0%	2,6%

Carrasco (2003) afirma que las políticas de estado sobre industrialización y la aplicación de un modelo económico orientado hacia el mercado interno determinaron los procesos de urbanización en el país. Las migraciones internas se focalizaron hacia los centros urbanos debido al incremento de las empleabilidades laborales. Catán (2013) estima que estas dinámicas de migraciones internas alteraron las estructuraciones del territorio,

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

modificando las dinámicas de producción de las zonas rurales y en los desplazamientos de la población.

Las comunas de San Felipe y Los Andes atravesaron ese proceso de urbanización, por lo que ahora el mismo se encuentra en una etapa acelerada (Catán, 2013)¹⁷. La población de ambos municipios es actualmente urbana. En el Censo 1992, el porcentaje de la población urbana en las comunas de Los Andes y San Felipe eran superiores a la de la media nacional. Específicamente, Los Andes es una de las comunas con mayor proporción de habitantes residentes en áreas urbanas de la región de Valparaíso, mientras que San Felipe ha evidenciado una mayor tasa de crecimiento intercensal de su población urbana durante los dos últimos periodos intercensales (ver tabla 39)

Tabla 39: Cuadro comparativo de la población urbana y rural de las comunas de estudio, y dinámicas de sus tasas de crecimiento intercensales.

Tipo	Año	Variable	San Felipe	Los Andes	Región de Valparaíso	Chile
Población urbana y rural calculadas entre los censos 1992 y 2017	1992	Pob. Urbana	46542	46346	1258557	11150707
		Pob. Rural	8049	3401	136081	2207996
	2002	Pob. Urbana	57760	55388	1409902	13090113
		Pob. Rural	6366	4810	129950	2026322
	2017	Pob. Urbana	69617	61017	1652575	15424263
		Pob. Rural	7227	5691	163327	2149740
Porcentaje respecto a la población total	1992	Pob. Urbana	85,3%	93,2%	90,2%	83,5%
		Pob. Rural	14,7%	6,8%	9,8%	16,5%
	2002	Pob. Urbana	90,1%	92,0%	91,6%	86,6%
		Pob. Rural	9,9%	8,0%	8,4%	13,4%
	2017	Pob. Urbana	90,6%	91,5%	91,0%	87,8%
		Pob. Rural	9,4%	8,5%	9,0%	12,2%
Tasas de crecimiento intercensales	1992-2002	Pob. Urbana	2,4%	2,0%	1,2%	1,7%
		Pob. Rural	-2,1%	4,1%	-0,5%	-0,8%
	2002-2017	Pob. Urbana	1,4%	0,7%	1,1%	1,2%
		Pob. Rural	0,9%	1,2%	1,7%	0,4%

En cuanto a las dinámicas demográficas por género, la proporción de población masculina y femenina promedio entre 1992 y 2017 ha sido del 48,5 y 51,5% en San Felipe. Por el lado de Los Andes, dicha proporción comparativa es más pareja, alcanzando el 49,9 y 50,1%.

Respecto a las dinámicas de la distribución de los habitantes por quinquenios, es posible afirmar un envejecimiento gradual de la población en ambas comunas, respondiendo a la dinámica que se experimenta a nivel nacional (Catán, 2013). Aquello se permite verificar en la cantidad y proporción de habitantes por quinquenios en los censos nacionales de 1992, 2002 y 2017. Tanto en San Felipe, como en los Andes, la mayor proporción de habitantes en el año 1992 se concentraba en los tres primeros quinquenios, con un 10 y 9,6%, respectivamente, mientras que las cantidades de los grupos de mayor edad disminuyen progresivamente. En el censo 2002 las distribuciones por quinquenios se

¹⁷ No se lograron encontrar los datos de la población urbana y rural por comuna en los censos anteriores del año 1992.

emparejan, aumentando progresivamente hacia los grupos de mayor edad. El mayor número de habitantes de San Felipe se sitúa en el quinquenio de 10 a 15 años, con un 9,7%, mientras que en Los Andes es el grupo quinquenal de los 15 a 19 años, con un 9,5%. Es importante mencionar que el quinquenio de 40 a 44 años fue el que tuvo una mayor diferencia positiva entre los Censos 1992 y 2002 en San Felipe (ver tabla en el anexo 24). También se puede reafirmar importante aumento de la población adulta y adulta mayor, respecto a la disminución de la población infante y adolescente.

En el Censo 2017 se evidencia una mayor simetría en las cantidades de habitantes por quinquenios. En ambas comunas, el grupo quinquenal más populoso es el de 25 a 29 años, equivalente al 8,3% del total de habitantes en San Felipe y un 7,8% del total en Los Andes. No obstante, los quinquenios que más aumentaron su número de habitantes son los grupos de 55 a 59 y 60 a 64 años, con una variación respectiva del 1,9 y 2,1%.

En los gráficos 1 y 2 del anexo 25 se muestran la evolución de la proporción de los habitantes por quinquenios de las comunas de estudio. Existe una fuerte semejanza en San Felipe y Los Andes respecto a sus dinámicas demográficas, asociadas a los grupos poblacionales por género y por rangos etarios. Sin embargo, es posible identificar una mayor proporción de población adulta y adulta mayor en Los Andes respecto a San Felipe, además la dispersión de los valores en 2017 es más cercana a la media en Los Andes (curtosis de 0,09).

Las localidades de San Felipe y Los Andes, que corresponden a nuestras áreas de estudio poseen una población total de 64.142 y 59.388, respectivamente y cuya densidad poblacional de ambas localidades es de 5.046,97 hab./km² y de 5.938,8 hab./km².

Con respecto a la densidad poblacional por manzanas censales, en San Felipe, el distrito Los Graneros, ubicado en el sector oeste de la ciudad, es el que presenta la mayor densidad poblacional de la comuna con 0,107 hab./m², mientras que el distrito Almendral, localizado al este de la urbe se posiciona como el de menor densidad con 1,53*10⁻³ hab./m². Por otro lado, el distrito de mayor densidad poblacional de la ciudad de Los Andes es Chacabuco, ubicado en el centro y sur de la urbe, con 8,54*10⁻³ hab./m²., entretanto, el de menor densidad es el distrito Estación, localizado en el centro-norte y noreste de la ciudad, y con 4,53*10⁻³ hab./m² (ver cartografía en el anexo 26).

Respecto a la distribución espacial de los habitantes según sus rangos etarios¹⁸, tanto en San Felipe como en Los Andes, las proporciones de los primeros tres grupos son semejantes¹⁹, con excepción del distrito Almendral, de San Felipe, que muestra un porcentaje de habitantes menores de 5 años muy por encima del resto de los distritos de la ciudad (10,3%, cuya media de la ciudad es del 7%). No obstante, las principales diferencias se vieron las proporciones de habitantes adultas mayores (>65 años). En San

¹⁸ Clasificados en cuatro grupos: (i) menores de 5 años, (ii) entre 6 a 14 años, (iii) entre 15 a 64 años y (iv) mayores de 65 años (INE, 2022).

¹⁹ Proporciones que se diferenciaban hasta 3 puntos porcentuales

Felipe, los distritos La Escuadra y Los Graneros, ubicados en las secciones sur y oeste de la ciudad, poseen la mayor cantidad de personas mayores a 65 años (11,6 y 11,1% de su total distrital, respectivamente); mientras que en Los Andes, el distrito que mayor cantidad y proporción de habitantes adultas mayores posee es La Feria, localizada al suroeste de la ciudad, cuya fracción porcentual a nivel distrital es del 14,1%.

En cuanto a la población extranjera residente, la ciudad de San Felipe posee 2.336 habitantes de origen migrante, equivalente al 3,6% de la población total de la urbe. Por otra parte, Los Andes presenta un número de habitantes extranjeros residentes menor que al de San Felipe, con un total de 1.173, equivalentes al 1,9%. Respecto a la distribución por distritos y manzanas censales, en San Felipe se encuentran concentrados puntualmente en sector suroeste y oeste de la ciudad, específicamente en el distrito Los Graneros, que aglomera el 4,7% de su población distrital, siendo el de mayor proporción. En contraparte, la población extranjera residente de Los Andes se ubica preferentemente en el sector norte de la urbe. En la cartografía del anexo 27 se visualizan la distribución de las concentraciones de habitantes extranjeros residentes.

A diferencia de lo anterior, la población de origen indígena presenta una proporción similar entre ambas ciudades (4,8% en San Felipe y 4,5% en Los Andes) (ver cartografía en el anexo 27), mostrando una distribución homogénea a lo largo y ancho de las urbes.

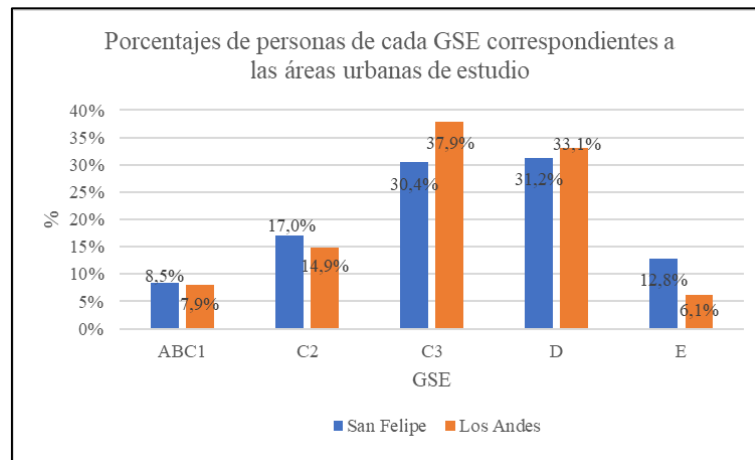
3.7.2. Caracterización socioeconómica

Las proporciones de los habitantes pertenecientes a ciertos grupos socioeconómicos en entre las ciudades San Felipe y Los Andes son semejantes. No obstante, podemos asumir ciertas tendencias respecto a su distribución espacial.

En la figura 25 nos muestra las proporciones de habitantes según el grupo el socioeconómico en ambas ciudades. En términos generales, los valores de cada grupo son similares en cada ciudad, sin embargo, existen algunos matices que son relevantes para analizar, como por ejemplo la abultada proporción de habitantes pertenecientes a grupos de clase media y media baja en Los Andes (71% pertenece a los grupos C3 y D, mientras que en San Felipe es de un 61%), y la notoria diferencia con respecto a la población perteneciente al grupo E entre ambas ciudades, donde San Felipe concentra casi un 13%, más del doble de los habitantes correspondientes a dicho segmento en Los Andes (6,1%).

La proporción de habitantes pertenecientes al grupo socioeconómico de mayores ingresos ronda el 8% entre ambas ciudades. En el caso del grupo C2, la diferencia entre ambas urbes es superior (San Felipe 17% y Los Andes 14%). El grupo C3 es el de mayor ponderación en la ciudad de Los Andes (37,9%) y es aquel que presenta una mayor diferencia entre ciudades (+7,5% que con respecto a San Felipe). Por el lado del grupo D, es el que conforma la mayor cantidad de habitantes respectivos en la ciudad de San Felipe con un 31,2%; -1,9% en comparación con Los Andes.

Figura 23: Proporción de residentes de las ciudades de San Felipe y Los Andes, en función de cada grupo socioeconómico (GSE).



Las diferencias con respecto a la distribución territorial de los grupos socioeconómicos la podemos analizar a nivel de manzana censal, representados resumidamente en sus distritos censales correspondientes (ver cartografía en el anexo 28).

En San Felipe podemos verificar patrones marcados que nos permiten establecer notorias disimilitudes de los grupos socioeconómicos distribuidos en los diferentes distritos censales. Lo que nos permite poder interpretar posibles indicios o acercamientos de procesos de segregación residencial que se ha experimentado en los distintos barrios de la ciudad.

Como nos muestra la tabla 39, la repartición de las proporciones nos muestra, con mayor grado de detalle, las diferencias entre distritos. El distrito Almendral, ubicado en el sector noreste de la ciudad, está principalmente compuesto por habitantes pertenecientes a los segmentos socioeconómicos de mayores ingresos, donde el 38% de sus residentes forma parte del grupo ABC1. En contraparte, el distrito Los Graneros, situado en la zona oeste, es aquel que contiene el mayor número de habitantes pertenecientes a los dos estratos más bajos, es decir, casi 15 mil habitantes del distrito, equivalente al 23% de la población de San Felipe, pertenecen a los grupos D y E. En el caso del distrito Quilpué, que solo posee 725 habitantes, casi la totalidad de sus residentes forman parte del estrato socioeconómico más bajo.

Tabla 40: Proporción de habitantes según grupos socioeconómicos, a nivel de distritos censales de la ciudad de San Felipe.

Distrito	% ABC1	% C2	% C3	% D	% E
Almendral	38,1%	22,9%	4,0%	19,7%	15,3%
Carmen	5,2%	28,5%	41,5%	10,6%	14,2%
La Escuadra	10,1%	16,9%	40,1%	29,7%	3,2%
Los Graneros	1,4%	7,9%	20,2%	51,7%	18,8%
Quilpué	0,0%	0,0%	0,0%	2,3%	97,7%

En cuanto a Los Andes, a pesar de presentar marcadas diferencias en la composición de los grupos socioeconómicos con respecto a los diferentes distritos, las proporciones de los habitantes respecto a los segmentos tienden a ser más pronunciadas a los estratos

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

medios. En todos los distritos, los segmentos que conglomeran el mayor número de residentes son el C3 (Chacabuco y La Feria) y el D (Estación y Laberinto).

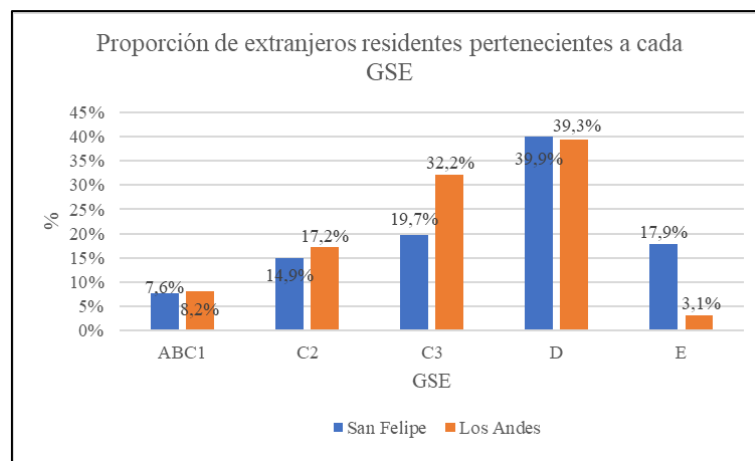
También hay que destacar, que a pesar de que el segmento E es uno de los menos populosos, en el distrito La Feria dicha proporción alcanza el 14,4%, ocupando el puesto nro. 3 de 5 en mencionada entidad censal (ver tabla 41).

Tabla 41: Proporción de habitantes según grupos socioeconómicos, a nivel de distritos censales de la ciudad de Los Andes.

Distrito	% ABC1	% C2	% C3	% D	% E
Chacabuco	6,6%	18,0%	48,4%	23,1%	3,9%
Estación	3,1%	12,2%	27,8%	50,1%	6,9%
La Feria	10,6%	12,0%	36,7%	21,4%	14,4%
Laberinto	16,6%	14,5%	27,9%	40,0%	1,0%

Respecto al censo del año 2017, se calcula que el número de habitantes extranjeros residentes de la ciudad de San Felipe alcanzó las 2.336 personas, en Los Andes es de 1.173, equivalentes al 3,6 y 1,9% de la población total respectiva. En cuanto a la distribución por segmentos, podemos verificar una mayor concentración hacia los estratos socioeconómicos C3, D y E. En la figura 24 nos muestra, comparativamente, las proporciones de extranjeros residentes pertenecientes a cada grupo socioeconómico en ambas ciudades de estudio.

Figura 24: Proporción de extranjeros residentes pertenecientes a cada grupo socioeconómico (GSE), en las ciudades de San Felipe y Los Andes.



En el caso de San Felipe podemos identificar que el 58% de la población extranjera residente se ubica en los estratos socioeconómicos D y E, siendo este último representado por el 1/5 de los inmigrantes residentes de la ciudad. Por otro lado, en Los Andes, la concentración de los grupos socioeconómicos de los habitantes extranjeros se ubica preferentemente en las clases C3 y D, equivalente al 72% de la muestra. Además, a diferencia de San Felipe, se evidencia una baja proporción de inmigrantes residentes ubicados en el último estrato socioeconómico.

A escalas distrital y de manzana censal, es posible afirmar una mayor heterogeneidad en las proporciones y distribución de los grupos socioeconómicos de los habitantes extranjeros residentes. En San Felipe podemos identificar tres patrones marcados con respecto a la distribución de los grupos socioeconómicos. En primer lugar tenemos el sector este de la ciudad, compuesto por habitantes extranjeros pertenecientes a los estratos socioeconómicos de mayores ingresos, en segundo lugar, el sector centro de la ciudad aglomerado por habitantes pertenecientes a estratos medios y, en tercer lugar, el sector oeste conformado por población inmigrante de bajos ingresos. En la tabla 42 se muestran las proporciones de los habitantes extranjeros residentes pertenecientes a los diferentes grupos socioeconómicos a escala distrital.

Tabla 42: Proporción de población extranjera residente pertenecientes a los cinco grupos socioeconómicos, a escala distrital, en la ciudad de San Felipe.

Distrito	% ABC1	% C2	% C3	% D	% E
Almendral	61,2%	19,4%	3,9%	11,7%	3,9%
Carmen	2,0%	36,9%	21,8%	27,5%	11,4%
La Escuadra	16,9%	6,0%	33,4%	35,8%	8,0%
Los Graneros	0,7%	4,1%	12,4%	53,7%	29,1%
Quilpué	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

La distribución de los grupos socioeconómicos de la población extranjera residente de Los Andes registra también ciertos mosaicos distintivos respecto a la composición de los mismos. Es posible destacar que el sector oeste está constituido por habitantes extranjeros de altos ingresos, mientras que el sector este está compuesto por inmigrantes residentes de bajos ingresos. Por otra parte, lo que respecta al centro y al sur de la ciudad corresponde a una compleja heterogeneidad en la agrupación de los distintos estratos socioeconómicos. En la tabla 43 se visualizan los porcentajes correspondientes a los grupos socioeconómicos pertenecientes a los habitantes extranjeros de Los Andes, a escala distrital.

Tabla 43: Proporción de población extranjera residente pertenecientes a los cinco grupos socioeconómicos, a escala distrital, en la ciudad de Los Andes.

Distrito	% ABC1	% C2	% C3	% D	% E
Chacabuco	5,9%	19,5%	47,7%	20,3%	6,6%
Estación	3,9%	20,2%	29,8%	42,5%	3,6%
La Feria	22,7%	10,6%	40,9%	25,8%	0,0%
Laberinto	12,0%	9,6%	17,1%	59,0%	0,0%

3.7.3. Vinculación entre zonas termales y las condiciones socioeconómicas de la población

Uno de los criterios de elección de los puntos de medición fue la composición socioeconómica de la población a escalas de barrios. A raíz de esto, se vincularon los indicadores observados con las condiciones socioeconómicas de la localización de los puntos de medición, a través de la determinación de áreas de influencia de 300 metros de radio respecto al punto.

En primer lugar, los sitios más frescos de la ciudad de San Felipe coinciden con las áreas de mayor renta de la ciudad. Aquel sitio corresponde a la estación Escuela Agrícola, donde el 44% de la población respectiva a su área de influencia corresponde al segmento ABC1, siendo además el sitio de medición que presenta el mayor número de habitantes correspondientes a dicho estrato. La razón fundamental de que la estación Escuela Agrícola sea una de la más fresca es debido a que se encuentra emplazada en una zona climática de construcciones dispersas y alta cobertura vegetal, adyacentes a cubiertas de suelos compuestos por plantas bajas (ver figura 25).

Por el otro lado, la zona más cálida de San Felipe se encuentra en el sector suroeste, representado a través del punto de Villa Yevide. Dicho lugar está habitado por grupos de habitantes de ingresos medios-bajos y bajos, ya que casi la mitad de su población respectiva (47%) pertenece al estrato E. Villa Yevide es el punto que aglutina las mayores temperaturas, la mayor frecuencia de días sobre el UODC²⁰ y obtuvo la ola de calor más extensa del verano (ver figura 25).

En la ciudad de Los Andes la situación fue diferente. Los puntos que se encuentran ubicados en áreas de mayor renta fueron los que registraron los indicadores meteorológicos más altos. En la figura 31 muestra que tanto Los Andes Centro, como Húmeres, concentran el mayor número de habitantes pertenecientes a los grupos ingresos mayores. Los Andes Centro se emplaza en el centro cívico de la ciudad, situada en una zona climática de construcciones compactas de mediana altura y con una baja cobertura vegetal. De manera contraria, los puntos que registraron las menores temperaturas y el menor número de horas de exposición a discomfort fueron los sitios compuestos por los grupos de habitantes de bajos ingresos (SINCA y Regimiento).

²⁰ Umbral de ola de calor

Figura 25: Composición económica por puntos de medición de San Felipe

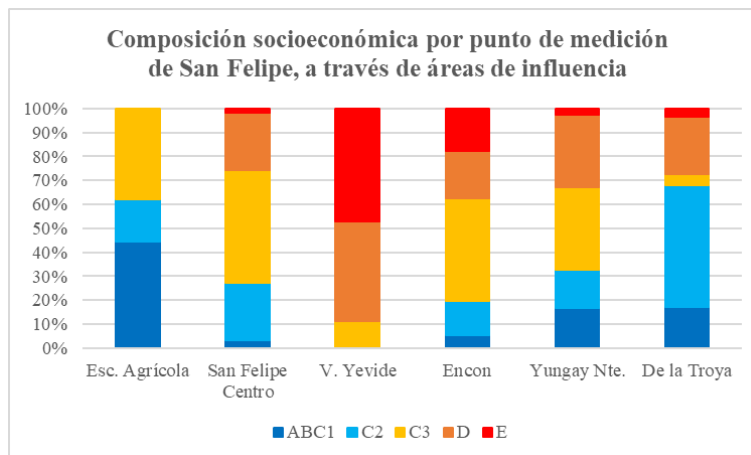
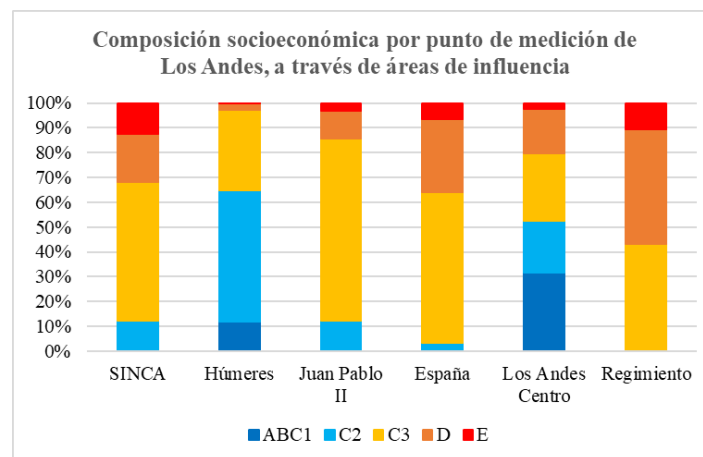


Figura 26: Composición económica por puntos de medición de San Felipe



3.7.4. Caracterización de la morfología urbana de las ciudades de San Felipe y Los Andes

3.7.4.1. Estimación del crecimiento de las manchas urbanas del área de estudio

Tal como se ha visto a lo largo del trabajo, las ciudades de San Felipe y Los Andes presentan bastantes similitudes en varios ámbitos, como por ejemplo sus características geográficas físicas, sus actividades económicas y sus composiciones demográficas y socioeconómicas. A lo anterior, también se le suma las dinámicas de crecimiento de sus principales asentamientos humanos.

Desde 1985 hasta 2021, las tasas anuales del crecimiento de las manchas urbanas entre ambas ciudades fueron semejante, 2,7% en San Felipe y 2,2% en Los Andes. A pesar de que históricamente la ex ciudad real ha sido siempre, dentro de las dos, la más poblada, se estimó que en 1985 la superficie de Los Andes en un 10% mayor. Sin embargo, se logró calcular que el crecimiento del área urbana de San Felipe fue superior, logrando superar a la superficie urbana de Los Andes a partir del año 1990 (ver tabla 44).

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

La ciudad de San Felipe creció fundamentalmente hacia el norte y este de la misma, siendo esta última zona la de mayor incremento durante los últimos 15 años del periodo de medición (ver cartografía ubicada en el anexo 29). Por el lado de Los Andes, la ciudad se ha ido expandiendo hacia el oeste, a través del Camino a San Rafael, hacia el sur en conexión con Calle Larga y hacia el este.

Tabla 44: Estimación de las superficies urbanas y las tasas anuales de crecimientos por periodos, en las ciudades de San Felipe y Los Andes.

Superficie (km ²) por año	San Felipe	Tasa anual de crecimiento	Los Andes	Tasa anual de crecimiento
1985	4,14		4,57	
1990	4,98	3,76%	4,94	1,54%
1995	5,97	3,68%	5,65	2,72%
2000	6,85	2,79%	6,90	4,09%
2005	7,85	2,78%	7,61	2,00%
2010	9,03	2,82%	8,12	1,31%
2015	9,92	1,90%	8,73	1,44%
2021	10,75	1,36%	10,02	2,34%

3.7.4.2. Estimación y análisis de la densidad de las edificaciones

El índice NDBI indica la proporción del área construida en cada pixel, el cual entrega valores comprendidos entre -1 y 1, siendo las cifras negativas las que señalan la presencia de áreas vegetadas, mientras que las positivas apuntan a zonas edificadas.

Los extremos del indicador oscilaron entre -0,38 y 0,28 en San Felipe, y entre -0,42 y 0,25 en Los Andes. Por lo tanto, se clasificaron cuatro categorías en función de los valores del índice, las cuales se encuentran señaladas en las tablas 45, 46 y 47. En ambas ciudades predominan las áreas de menor densidad edificada, que coinciden con sectores de construcciones bajas que no superan las tres plantas de altura.

En la ciudad de San Felipe las áreas de mayor densidad vegetativa se ubican sobre los predios agrícolas situados en el sector norte y noreste de la ciudad, mientras que los sectores de mayor densidad construida se emplazan en el centro cívico (ver cartografía en el anexo 30).

En Los Andes se destaca la presencia de una extensa área de alta densidad vegetativa ubicada en el sector suroeste de la ciudad, cercano al punto de medición Ib06 - Juan Pablo II. También se resaltan áreas densamente vegetadas situadas en el sector noreste, emplazados fundamentalmente sobre el Regimiento Militar Yungay 3, y en sectores periurbanos localizados a oeste de la ciudad. Por otro lado, y de igual manera que en San Felipe, se visualiza una mayor proporción de edificaciones en el centro cívico de Los Andes (ver cartografía en el anexo 30).

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

Tabla 45: Proporción de áreas vegetadas y construidas en función del índice NDBI, ajustado a las áreas urbanas de las ciudades de San Felipe y Los Andes.

Categorías índice NDBI		San Felipe		Los Andes	
		m ²	%	m ²	%
Alta densidad vegetativa	< -0,15	827153	7,7%	878793	8,7%
Baja densidad vegetativa	[0,15 - 0)	3600694	33,7%	3662289	36,2%
Baja densidad construida	[0 - 0,15)	5939029	55,6%	5273467	52,2%
Alta densidad construida	> 0,15	309784	2,9%	296235	2,9%
		10676660	100%	10110784	100%

Tabla 46: Proporción de áreas vegetadas y construidas en función del índice NDBI por distrito censal de la ciudad de San Felipe.

Categorías índice NDBI		Almendral		Carmen		La Escuadra		Los Graneros		Quilpué	
		m ²	%	m ²	%	m ²	%	m ²	%	m ²	%
Alta densidad vegetativa	< -0,15	246649	17,4%	173169	7,0%	56880	2,4%	38433	2,1%	83184	27,8%
Baja densidad vegetativa	[0,15 - 0)	681549	48,2%	780629	31,6%	671588	28,4%	428209	23,4%	136035	45,5%
Baja densidad construida	[0 - 0,15)	471624	33,4%	1410442	57,1%	1567173	66,2%	1318704	71,9%	66700	22,3%
Alta densidad construida	> 0,15	14192	1,0%	104656	4,2%	70679	3,0%	47686	2,6%	13034	4,4%
		1414014	100%	2468896	100%	2366320	100%	1833032	100%	298953	100%

Tabla 47: Proporción de áreas vegetadas y construidas en función del índice NDBI por distrito censal de la ciudad de Los Andes

Categorías índice NDBI		Chacabuco		Estación		La Feria		Laberinto	
		m ²	%	m ²	%	m ²	%	m ²	%
Alta densidad vegetativa	< -0,15	65314	2,5%	169372	7,3%	239187	13,5%	185263	13,3%
Baja densidad vegetativa	[0,15 - 0)	789785	29,7%	841406	36,4%	671237	37,8%	636262	45,7%
Baja densidad construida	[0 - 0,15)	1717100	64,5%	1222417	52,9%	828036	46,6%	540029	38,8%
Alta densidad construida	> 0,15	90296	3,4%	77122	3,3%	39475	2,2%	30643	2,2%
		2662495	100%	2310317	100%	1777935	100%	1392197	100%

3.8. Propuestas

El propósito principal de los estudios en climatología urbana es elaborar bases teóricas que permitan ser fuente para la confección de estrategias que busquen mitigar, las consecuencias negativas, que provocan las ciudades sobre el clima regional y/o local. Se destacan dos métodos bases para la implementación de estrategias de mitigación: El primero trata acerca de las relaciones entre forma, disposición y orientación de las construcciones, mientras que el segundo aborda en el estudio de los espacios intersticiales entre edificaciones, principalmente a través de la creación de áreas verdes (Gómez, 2014; Picone, 2014).

Es por esto, que se presentarán algunas propuestas estimativas de mitigación, en referencia a los comportamientos climáticos de las categorías de ZCL, descritas en el ítem 3.7. Las cuales considerarán los aspectos más críticos respecto a los valores medios de temperaturas e indicadores meteorológicos y de confort, como también las condiciones socioeconómicas y urbanas.

La ZCL 2 corresponde a las áreas de edificaciones compactas y de baja altura. Está representada a través de los puntos ubicados en los centros cívicos de ambas ciudades,

Ib08 e Ib09²¹. Considerando las pautas del comportamiento meteorológico del verano 2021-22, se deberían considerar el aumento del arbolado urbano y el establecimiento de techos verdes, a través de cuerpos vegetales livianos y de bajos costos de mantención (Pérez, 2017)²². Esto ayudará atenuar el incremento de las temperaturas durante las horas de la tarde y permitirá acelerar el enfriamiento radiativo posterior a la puesta de sol, disminuyendo la frecuencia de noches cálidas y noches tropicales que fueron frecuentes durante el verano 2021-22, especialmente en Los Andes Centro (Ib09).

De manera similar, las ZCL 3 y ZCL 3₆ comparten aspectos climáticos semejantes a la ZCL 2. No obstante, se pueden distinguir ciertas diferencias respecto a la implementación de las propuestas de intervención. Los porcentajes de áreas verdes urbanas (AVU) y de accesibilidad a las mismas (IAc), y los valores de NDVI de la ZCL 3 son bajos en comparación con otras áreas de ambas ciudades. Es por ello, que es necesario crear y mejorar el estado de plazas y parques situados en estas zonas. Además, también se debe considerar elaborar corredores de viento en dirección SW-NE en las construcciones de nuevos conjuntos residenciales, considerando que durante las horas del atardecer se producen las mayores intensidades de los vientos.

La ZCL 3₈ se puede estudiar de manera diferenciada de las ZCL 3 y 3₆, debido a su comportamiento climático de verano y la composición socioeconómica de los barrios insertos en esta categoría, habitados fundamentalmente por sectores pertenecientes a los estratos D y E. Se estima, a priori, que los residentes del sector suroeste de San Felipe (Villa Yevide – Ib02) son más propensos a sufrir las peores consecuencias de los eventos meteorológicos asociados al estrés térmico. Por lo tanto, es necesario la creación y mejora de los espacios verdes públicos en dicha zona, debido que tanto las áreas de influencia del Ib02 e Ib04²³ presentan los valores porcentuales de AVU por habitantes más bajos de las ciudades de San Felipe y Los Andes, además de contar con las menores cifras respecto a los componentes de calidad de áreas verdes, tales como los parámetros de mantención, estado de vegetación y accesibilidad, como además puede ser necesario ampliar el arbolado urbano en las áreas interiores de los barrios ubicados dentro de esta categoría. También se debe considerar, desde la perspectiva de las propiedades termofísicas de los materiales, tales como la utilización de pinturas de color blanco o tonos claros en superficies asfaltadas, como veredas y calles, en estructuras verticales y en techos.

Al oeste de Villa Yevide se encuentra emplazado una toma de terreno que todavía no forma parte del último Catastro nacional de campamentos. Se estima que en dicho conjunto habitan alrededor de 600 familias, las cuales no poseen, en su totalidad, los accesos a bienes y servicios básicos, y son carentes de equipamientos urbanos (Diario El Aconcagua, 2021; Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2022). Considerando estos aspectos, y retomando lo dicho en el párrafo anterior, los habitantes de la toma de terreno

²¹ Ib08 (Los Andes Centro); Ib09 (San Felipe Centro)

²² Se pueden utilizar especies vegetales de bajo requerimiento de humedad, las cuales pueden subsistir con agua de lluvia. Para el almacenamiento hídrico, las edificaciones deberían contar con colectores de aguas lluvias para asegurar el suministro durante la época seca.

²³ Ib02 (Villa Yevide, San Felipe) e Ib04 (España, Los Andes) están representados en la categoría ZCL 3₈.

son los más vulnerables ante las amenazas climáticas como eventos de estrés térmico, tanto por calor como por frío, además de no contar con las herramientas y accesibilidades a paliar aquellas consecuencias. Es por esto, que la elección del punto de medición de Villa Yevide fue necesario para conocer, estimativamente, el comportamiento climático de dicho sector aledaño.

El comportamiento climático de la ZCL 3_D consta de una alta amplitud térmica, pero con un mayor enfriamiento radiativo posterior a la puesta de sol, y una baja frecuencia de noches cálidas y tropicales. La razón técnica de esto es debido a la cercanía de cubiertas vegetadas (ej.: áreas de cultivos), permiten el enfriamiento de las masas de aire, y que a través de las dinámicas de brisas campo-ciudad, estas se desplazan sobre las capas de aire circundantes a estas áreas. Tres puntos de medición están representados en estas categorías, dos de San Felipe (Ib01 e Ib05) y uno de Los Andes (Ib06)²⁴.

El primero de los puntos mencionados en el párrafo anterior, Ib01, se instaló en un conjunto residencial relativamente nuevo, inaugurado aproximadamente en 2005 y compuesto fundamentalmente por sectores ABC1 y C2. Si bien, dentro del conjunto no existen AVU que superen los 5000 m², poseen un importante número de plazas. Por otro lado, las áreas circundantes de los puntos Ib05 e Ib06, están compuestas por habitantes pertenecientes a los estratos C3, D y E. Tanto a escala de barrio, como a escala del área de influencia del Ib06, posee un bajo número de metros cuadrados de AVU por persona. Por ende, es necesario intervenir en el mejoramiento de las infraestructuras de las áreas verdes públicas de dicho barrio. También, es importante poder considerar la construcción de un parque urbano sobre el predio agrícola insertado en el medio, entre Villa Juan Pablo II y Villa Las Acacias, con el centro cívico de Los Andes, con el fin de mantener dicha área como espacio de regulador térmico, hídrico y de fijación de contaminantes.

²⁴ Ib01 e Ib05 (De la Troya y Encon, respectivamente). Ib06 (Juan Pablo II).

4. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

4.1. Discusiones

Howard (1883) afirma que los primeros trabajos en climatología urbana se iniciaron a fines del siglo XIX en Londres, a través de la comparación de temperaturas entre estaciones ubicadas dentro de la ciudad y fuera de la misma. Oke (2017) reafirma aquello, aludiendo que a partir de la primera mitad del siglo XX comenzaron a interpretar, teóricamente, la conceptualización de la isla de calor. Picone (2014) estima que a pesar de que los avances de las investigaciones de esta materia son mayores en Norteamérica, Europa y Asia, asegura que durante estos últimos 15-20 años se ha evidenciado un notorio aumento en el número de estudios en climatología urbana, destacando importantes avances en ciudades brasileras, mexicanas y chilenas.

Oke (1992) propone que las islas de calor pueden presentar dinámicas diferentes entre las distintas ciudades del mundo, que esas diferencias del comportamiento térmico intraurbano se deben a las características meteorológicas, geográficas y urbanas, y que además estos patrones varían en lo espacial y en lo temporal. Smith (2013), Gómez (2014) y Picone (2014) estiman que, en condiciones anticiclónicas, las mayores diferencias térmicas en el interior de las ciudades se producen previo al amanecer y posterior a la puesta de sol. Aquello lo podemos rectificar solamente con las diferencias térmicas visualizadas en Los Andes, ya que en San Felipe las amplitudes térmicas más altas entre puntos se produjeron durante el mediodía.

La distribución de las temperaturas atmosféricas y humedad relativa obedecieron a los prototipos de comportamiento térmico que posee cada zona climática local. En ambas ciudades los núcleos cálidos se emplazaron sobre áreas de construcciones compactas y de baja proporción de vegetación. Sin embargo, según Oke (1992) la elaboración de las Zonas climáticas locales tomó como base el modelo de urbanización anglosajón, donde cuyo formato es más extenso y fragmentado, donde además se indica una mayor homogeneidad respecto a las composiciones de las construcciones por manzanas, por lo que Picone (2014) señala la complejidad de adaptar el arquetipo de Zonas climáticas locales en las urbes latinoamericanas, ya que estas son más compactas y heterogéneas. La composición morfológica urbana de las ciudades de San Felipe y Los Andes no están ajenas a ellos, como por ejemplo en eje de Manso de Velasco del sur de San Felipe, donde se combinan cuadras de áreas residenciales con instalaciones industriales.

En relación con esto, se vuelve a retomar que los valores térmicos e hídricos correspondieron a los tipos de comportamiento meteorológico que debe tener cada Zona climática local. Smith (2013) afirma que la vegetación es una de las variables más determinantes del establecimiento de temperaturas. Esto se puede verificar con las áreas residenciales adyacentes a cubiertas de uso de suelo agrícola, el cual influye como elemento enfriador a partir de la puesta de sol y durante las horas nocturnas. Aludido a esto, Gómez (2014) y Picone (2014) estiman que la presencia de núcleos frescos presentes en los cascos históricos o centros cívicos durante las horas diurnas, pueden deberse al efecto sombra que generan las construcciones y que puede estar acompañado por la

composición de áreas verdes urbanas presentes en dichos sectores. Sin embargo, esta presencia de una posible *isla fría* se observó en Los Andes, donde cuya extensión temporal fue exclusivamente mayor en los meses más cálidos de la temporada, con cuatro horas de duración en diciembre y enero, y menor en los meses más templados con solo una hora de transcurso en marzo. En el caso de San Felipe fue contrario, ya que junto con Escuela Agrícola y Yungay Norte, se constituyó como uno de los puntos que experimentó el mayor calentamiento durante las horas matutinas.

Los puntos de medición ubicados en el interior de los mosaicos urbanos de mayor consolidación registran una amplitud térmica más estable que en los puntos situados en las periferias, preferentemente los localizados cerca de áreas de cultivos agrícolas. Aquel comportamiento térmico se puede asemejar con los resultados expuestos por Viegas (2018) en La Plata, Argentina, que a pesar de estar inmerso en un contexto mesoclimático diferente a de las ciudades chilenas del presente estudio, se permite corroborar dicha relación. Además, Hidalgo (2018) indica que las amplitudes térmicas de los centros urbanos son más estables que en sus periferias, siempre y cuando si se toma en consideración el contexto urbano presente en cada periferia. Asociado a esto, al revisar las medias térmicas horarias mensuales, durante los meses más cálidos del verano se observó una mayor durabilidad de un *núcleo frío* en los centros urbanos de San Felipe y Los Andes²⁵. Esto permite interpretar dado los resultados de Picone (2016), Viegas (2018) e Hidalgo (2018), la persistencia del *núcleo frío* en los centros urbanos tiende a ser baja y/o nula fuera de la época estival.

Oke (2010) e Hidalgo (2018) coinciden que uno de los principales errores metodológicos que se presentan en los trabajos de climatología urbana, es la de basar el análisis científico en indicadores mensuales o anuales. Los procesos climáticos urbanos se ajustan en escalas de tiempo y espacio más cortas, confirmando lo establecido por Sarricolea (2013), donde indica que el efecto urbano corresponde más a un fenómeno más estructural que coyuntural, y es por esto por lo que dentro de los estudios de climatología urbana se pueden admitir trabajos en periodos más cortos de tiempo, como lo fue en este caso de estudio.

Gómez (2014) y Castillo (2020) afirman que el comportamiento climático urbano evidencia una gran complejidad a escala intraurbana, logrando observar una notoria heterogeneidad respecto a los indicadores meteorológicos y biometeorológicos, tales como desde los valores térmicos medios y extremos, hasta la durabilidad de horas de discomfort térmico ambiental. Es por ello por lo que se advierte la importante necesidad de construir una red de estaciones meteorológicas fijas a escalas barriales, ya que permitirá poder estudiar de forma más integrada las dinámicas climáticas de las ciudades.

Santibáñez (2016) afirma que a nivel global la tendencia climática futura en Chile central apunta al aumento de las temperaturas, lo que incrementa las probabilidades de ocurrencias de eventos de calor extremo. Viegas (2018) indica que debido al aumento de las temperaturas en los periodos estivales han provocado la intensificación de la demanda

²⁵ El núcleo frío del centro de Los Andes se instaló más tempranamente que el núcleo frío del centro de San Felipe.

energética en la ciudad de La Plata, el cual cuyo uso generaron colapsos energéticos durante las grandes olas de calor, como por ejemplo la de diciembre del 2013, y esto se acompaña con lo establecido por Smith (2013), donde afirma que la demanda energética aumenta entre 2 y 4% cada 1°C superior o igual a los 20°C. El uso de elementos de climatización como lo es el aire acondicionado genera una liberación de aire cálido hacia el ambiente externo, lo que degrada el ambiente ya que propicia a la generación de gases de efecto invernadero (Gómez, 2014).

Smith (2016) señala que debido al incremento de las temperaturas, haciendo énfasis en la época de verano, permite el aumento del desconfort térmico, afectando directamente al bienestar psicológico y físico del ser humano. Esto también se relaciona con mencionado por Chesini (2019), el cual apunta que el incremento de calor durante las épocas estivales ha generado una mayor probabilidad de ocurrencia en el padecimiento de enfermedades causadas por estrés térmico, siendo más vulnerables los grupos de adultos mayores de 60 años e infantes.

La variabilidad del comportamiento térmico tiene relación con las características morfológicas urbanas de cada sector, lo cual permite vincular que existen diferencias en la distribución de temperaturas con respecto a las condiciones socioeconómicas de los diferentes barrios, ya que los núcleos cálidos suelen concentrarse en áreas de menores ingresos. Esto es debido a que dichos lugares están constituidos por construcciones compactas y carentes de equipamientos urbanos, tales como áreas verdes. Los resultados del trabajo permiten indicar que los barrios socioeconómicamente más deprimidos de San Felipe y Los Andes, están más expuestos a sufrir las peores consecuencias de los eventos meteorológicos de calor extremo. Lo anterior refleja una problemática de injusticia ambiental (Romero *et al.*, 2011; Sarricolea & Martín-Vide, 2014; Picone, 2014; Smith & Henríquez, 2016; Castillo, 2020).

4.2. Conclusiones

Las ciudades de San Felipe y Los Andes corresponden a una de las urbes chilenas más calurosas durante los meses de verano, cuyos habitantes residentes están más propensos a sufrir los riesgos vinculantes con el aumento progresivo de temperaturas (Henríquez *et al.*, 2020). Tomando en cuenta aquello, se observó que durante el verano 2021-2022, las temperaturas máximas de las ciudades de estudio fueron en promedio 2,5°C que en Santiago, donde además dicha diferencia comparativa fue mayor en las olas de calor del último periodo estival.

La caracterización térmica en superficie fue uno de los criterios utilizados para la elección de los puntos de medición, y uno de los propósitos de este trabajo fue comparar y corroborar dicha la distribución espacial de temperaturas de emisión superficial con las temperaturas atmosféricas. En el caso de San Felipe se logró evidenciar una relación cercana entre ambas partes, sin embargo, en Los Andes no se verificó mencionada reciprocidad, en especial durante las horas nocturnas ya que la periferia noreste de Los Andes corresponde a una de las áreas frescas de la ciudad.

El comportamiento térmico intraurbano tuvo una estrecha relación con la composición de las zonas climáticas locales. Sin embargo, se estima necesario elaborar este vínculo si se toma en cuenta la ubicación de la zona climática local con respecto a sus entidades vecinas. Esto se permite comprobar con los datos obtenidos de los puntos de medición, ya que, por ejemplo, Villa Yevide, Yungay Norte y Encon de San Felipe se ubican en áreas residenciales compactas de baja altura (ZCL3). No obstante, los tres puntos se encuentran adyacentes a diferentes zonas climáticas entre sí, por lo que influye directamente en la determinación de los valores térmicos e hídricos.

Teóricamente se estima que las diferenciaciones térmicas entre los distintos puntos de la ciudad es mayor previo al amanecer y posterior. Aquella afirmación se evidenció en la ciudad de Los Andes, la cual presentó diferencias de hasta 8°C entre el punto más cálido, Los Andes Centro, y el más fresco, Juan Pablo II. No obstante, dicha aseveración no se logró estimar en San Felipe, ya que las horas de mayor amplitud térmica entre puntos se registró al mediodía.

El verano 2021-2022 tuvo temperaturas levemente bajo lo normal en la estación Escuela Agrícola de San Felipe. Sin embargo, el inicio de la temporada estuvo marcado por la mayor cantidad de días sobre el nonagésimo percentil climático diario, y por la mayor frecuencia de olas de calor. Estos indicadores climáticos presentaron una importante heterogeneidad entre los diferentes puntos de las dos ciudades, planteando que la gran complejidad que presenta el comportamiento climático urbano.

En cuanto a las anomalías de temperaturas de la estación de referencia²⁶, las mínimas térmicas fueron las que tuvieron las mayores diferencias negativas respecto a las medias históricas. No obstante, se observaron importantes desemejanzas en los indicadores vinculados a la magnitud de noches cálidas y noches tropicales. Por ejemplo, en Villa

²⁶ Estación Escuela Agrícola de San Felipe

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

Yevide el 90 y el 41% fueron noches cálidas y noches tropicales, respectivamente. En Los Andes Centro dicha cifra fue mayor, alcanzando el 100 y 50%. De forma contraria a esto, en Escuela Agrícola dichos indicadores alcanzaron el 30 y 4%, respectivamente.

Debido a que la humedad relativa del aire es preferentemente baja en los meses de verano de las ciudades de San Felipe y Los Andes, los valores del índice de HUMIDEX fueron levemente mayores a los montos de temperatura. A pesar de aquello, se observaron distintos patrones respecto a la durabilidad del mismo, presentando diferencias de hasta 3 horas de desconfort térmico entre puntos.

Históricamente, el establecimiento de las estaciones meteorológicas en Chile ha tenido dos propósitos fundamentales. El primero para el monitoreo de las condiciones meteorológicas en aeropuertos y aeródromos, y el segundo para las observaciones agrometeorológicas. En el Área Metropolitana de Santiago existen alrededor de 12 estaciones meteorológicas, de medición de temperaturas del aire y humedad atmosférica, que son dependientes a órganos públicos²⁷, el cual de ese total solamente tres cuentan con series de datos mayores o iguales a 30 años. En relación con lo anterior, esta situación resulta ser más compleja en ciudades menores, como San Felipe y Los Andes, y es por esto que debido a la complejidad de los comportamientos climáticos a escala intraurbana, es necesario tener una mayor cantidad de estaciones o punto de monitoreo meteorológico dentro de las ciudades.

Hasta el momento, San Felipe y Los Andes no cuenta con información de base climática integrada, en especial la ciudad de Los Andes ya que sus estaciones meteorológicas presentan extensos vacíos de datos. Por lo tanto, es necesario elaborar estudios climáticos urbanos integrados, que permita conocer las dinámicas de los mismos a escala de barrios. Es por ello que la investigación expuesta en trabajo buscó crear una línea de base climática integrada de ambas ciudades.

²⁷ Los órganos públicos correspondientes son: DMC, SINCA e INIA (Est. La Platina de La Pintana)

5. REFERENCIAS

- BARCIA, S., OTERO, M., HERNÁNDEZ, D., GÓMEZ, D., y GÓMEZ, L. (2020). Comparación de diferentes índices bioclimáticos en Cuba. *Revista cubana de meteorología*, 1-19. Recuperado el julio de 2022
- BARRIOS, S. (2001). “Áreas metropolitanas: ¿Qué ha cambiado? La experiencia de la Caracas Metropolitana”, *Revista EURE* (Vol. XXVII, N° 80), pp. 59-86, Santiago de Chile
- BERNARD, J., MUSY, M., CALMET, I., BOCHER, E., y KERAVEC, P. (2017). Urban heat island temporal and spatial variations: Empirical modeling from geographical and meteorological data. *Building and Environment*.
- BORNSTEIN, R. 1968. “Observations of the urban heat island effect in New York city” en *Journal of Applied Meteorology*, 7. pp. 575-582.
- CAPELLI, A, PICCOLO, M, CAMPO, A. 2005. Clima urbano de Bahía Blanca. Departamento de Geografía y Turismo, Universidad del Sur, Argentina. En línea: <http://books.google.cl/books?id=nn5xZdv8jIcC&printsec=frontcover&dq=clima+urbano&hl=es&sa=X&ei=kyU-UefqA4T1qAHlkoC4Ag&ved=0CC0Q6AEwAA> >
- CARDONA, O. 2001. La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo: Una crítica y una revisión necesaria para la gestión. CEDERI: Centro de estudios sobre desastres y riesgos, 1-18. Recuperado el julio de 2022
- CARRASCO, M. 2003: “Diagnostico y tipificación de las formas del tejido urbano en ciudades intermedias de Chile”. Disponible en: www.cpsv.upc.es/tesines/resumgu_mcarrasco.pd
- CASTILLO, V., I. A. 2020. Clima urbano de espacios públicos de Peñalolén: Confort térmico exterior como un caso de injusticia climática. Memoria para optar al título profesional de Geógrafo. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo
- CATÁN, J., C. V. 2013. ¿Tejiendo redes urbanas en ciudades intermedias o metropolización de las problemáticas urbanas?: El caso de estudio San Felipe-Los Andes. Tesis para optar al grado de Magíster en Desarrollo Urbano. Santiago, Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos. 102p.
- CENTRO UC DE POLÍTICAS PÚBLICAS. 2019. Desafíos en la actualidad a áreas verdes en la ciudad y posibles vías de solución, en el marco de ley de aportes. Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile .
- CEPAL. 2016. Horizontes 2030: La Igualdad en el Centro del Desarrollo Sostenible. Trigésimo sexto periodo de sesiones de la Cepal. Santiago de Chile.
- CHESINI, F., ABRUTZKY, R., y DE TITTO, E. 2019. Mortalidad por olas de calor en la ciudad de Buenos Aires (2005-2015). *Cadernos de Saúde Pública*, 1-11. Recuperado el julio de 2022
- CICOLELLA, P. 1999. Globalización y dualización de la Región Metropolitana de Buenos Aires. Grandes inversiones y reestructuración socioterritorial de los años noventa. *EURE*, 6-34.

- CUADRAT, J.M., SAZ, M.A. y VICENTE-SERRANO, S.M. 2005. Los efectos de la urbanización en el clima de Zaragoza (España): La Isla de Calor y sus factores condicionantes. En: Boletín de la A.G.E., (40): 311-327.
- DIARIO EL ACONCAGUA. 2021. Mega Toma en sector poniente en San Felipe podría terminar siendo reconocida como campamento. [en línea]. Diario el Aconcagua. 20 de abril del 2021. <<https://www.elaconcagua.cl/2021/04/20/mega-toma-en-sector-poniente-en-san-felipe-podria-terminar-siendo-reconocida-como-campamento/>>
- DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. 2022. Obtenido de <https://snia.mop.gob.cl/BNAConsultas/reportes>
- DIRECCIÓN METEOROLÓGICA DE CHILE. (2022). Obtenido de <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/requerimiento/producto/RE7002>
- DUVAL, V., BENEDETTI, G., y BAUDIS, K. (2020). El impacto del arbolado urbano de alineación del microclima urbano. Bahía Blanca, Argentina. (U. d. Alicante, Ed.) Investigaciones geográficas, 171-188. Recuperado el julio de 2022
- FUENTEALBA, M. M. (2019). Urban Climates in Latin America - Reseña. Springer.
- GIFREU F, J. 2018. Ciudades adaptativas y resilientes ante el cambio climático: estrategias locales para contribuir a la sostenibilidad urbana. Revista Aragonesa de Administración Pública, N° 52, 101-158.
- GOLSING, S., GABRIEL, K., DIXON, P., y GOLSING, E. (2014). A glossary for biometeorology. International Journal or Biometeorology, 33.
- GÓMEZ. N. 2014. Climatología urbana de Copiapó como ciudad localizada en un medio ambiente árido. Tesis para optar al título profesional de Geógrafa. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo. 113p.
- HENRÍQUEZ, C.; QÜENSE, J.; CONTRERAS, P.; GUERRERO, N.; SMITH, P. y GONZÁLEZ, F., 2020. Informe Proyecto ARClím: Ciudades. Centro de Cambio Global UC, Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia y CEDEUS coordinado por Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia y Centro de Cambio Global UC para el Ministerio del Medio Ambiente a través de La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Santiago.
- HIDALGO, J., y JOUGLA, R. (2018). On the use of local weather types classification to improve climate understanding: An application on the urban climate of Toulouse. PLoS ONE, 1-21.
- HOGAN, A. y FERRICK, M. 1988. Observations in nonurban heat islands. En: Journal of Applied Meteorology, (37): 232-236.
- HOUET, T., y PIGEON, G. (2011). Mapping urban climate zones and quantifying climate behaviors - An application on Toulouse urban area (France). Environment Pollution.
- HOWARD, L. 1833. Climate of London deduced from Meteorological Observations. 3 ra edición en 3 vol. Harvey & Darton. Londres. 221 pp.
- IBUTTON. (2022). IBUTTON. Obtenido de <https://ibutton.cl/que-es-ibutton/>
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS. (2005). Chile: Población censada y tasa de crecimiento anual, según ciudades. Años 1950-2002. Santiago.

- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS. (2019). Indicador de calidad de plazas y parques urbanos. Obtenido de <https://storymaps.arcgis.com/stories/391dac6ee0c3438fbf186aed3ea1cff1>
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS. (2019). Indicadores de calidad de plazas y parques urbanos en Chile. Santiago: Instituto Nacional de Estadísticas.
- Instituto Nacional de Estadísticas. (16 de Agosto de 2022). Instituto Nacional de Estadísticas. Obtenido de [https://www.ine.gob.cl/estadisticas/sociales/censos-de-poblacion-y-vivienda#:~:text=El%20C3%BAltimo%20censo%20de%20poblaci%C3%B3n,51%2C1%25\)%2C%20mujeres.](https://www.ine.gob.cl/estadisticas/sociales/censos-de-poblacion-y-vivienda#:~:text=El%20C3%BAltimo%20censo%20de%20poblaci%C3%B3n,51%2C1%25)%2C%20mujeres.)
- LANDSBERG, H. E. 1981: The Urban Climate. Academic Press, INC. Nueva York, Estados Unidos. 275 pp.
- LAVELL, A. (1999). Un encuentro con la verdad: Los desastres en América Latina durante 1998. Anuario Político y Social de América Latina, 1-19. Recuperado el agosto de 2022
- LETELIER, A. A. 2020. Estudio de la Isla de Calor Urbana en Santiago Centro entre 2016 y 2017, bajo la mirada de planificación urbana y diseño sensible al clima. Memoria para optar al título profesional de Geógrafa. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo
- LUEBERT, F., y GAJARDO, R. 2004. Antecedentes sobre la vegetación de la cordillera de los Patos, Andes de Chile central (Región de Valparaíso, V). *Chloris Chilensis*, 7(2).
- MARTIN-VIDE, J., SARRICOLEA, P., y MORENO, M. (2015). On the definition of urban heat island intensity: The “rural” reference. *Frontiers in Earth Science*. Recuperado el julio de 2022
- MATURANA, F. (2015). ¿Ciudad media o ciudad intermedia? Evolución conceptual y estudio en Chile. *Instituto chileno de Estudios Municipales (ICHEM)*, 21-42. Recuperado el julio de 2022
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS. (2004). Cuenca del río Aconcagua. Santiago.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS. (2013). ANÁLISIS CRÍTICO DE LAS REDES HIDROMÉTRICAS, REGIONES V A VII Y REGIÓN METROPOLITANA. Santiago. Recuperado el julio de 2022
- MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO; INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS. (2018). Metodología para medir el crecimiento físico de los Asentamientos Humanos de Chile. Santiago.
- MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO. 2022. Catastro de campamento 2022. [en línea]. <<https://ide.minvu.cl/maps/MINVU::catastro-de-campamentos/about>>
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. (2018). Plan de Acción Nacional de Cambio Climático. Santiago.

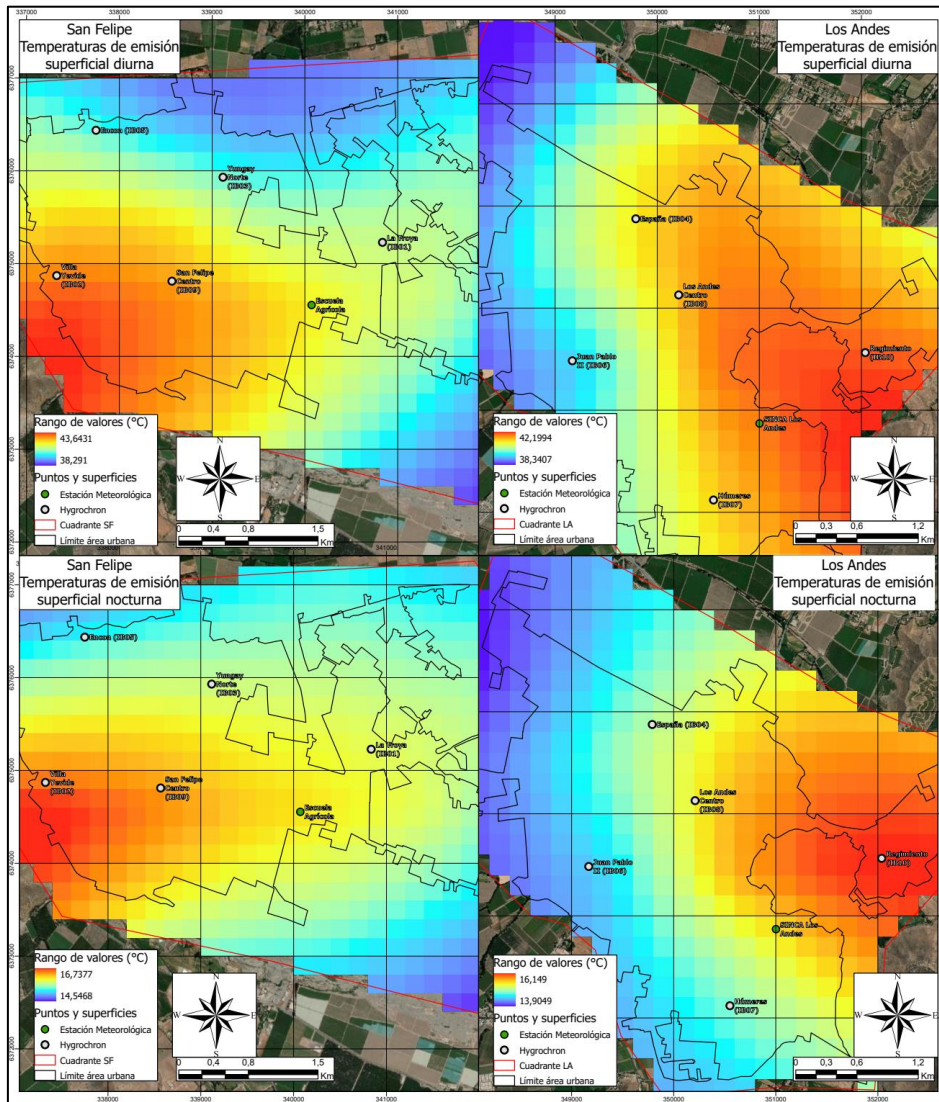
- MOLINA, M., ROMERO, H., y SARRICOLEA, P. (2008). Características socio ambientales de la expansión urbana de las Áreas metropolitanas de Santiago y Valparaíso. EURE, 187-200. Recuperado el julio de 2022
- MONTEALEGRE, F., GASPARI, F., y PERDOMO, S. (2021). Análisis territorial y de expansión urbana aplicando índices de construcción. Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG), 1-17.
- OKE, T. R. (1973). City size and the urban heat island. Atmospheric Environment, 7. pp. 769-779.
- OKE, T. R. (1992) Boundery Layer Climates. Mathuen & Ltd. Press. Londres. 372 pp.
- OKE, T., MILLS, G., CHRISTEN, A., y VOOGT, J. (2017). Urban Climates.
- ONU. (2018). World City Populations 1950-2035. Obtenido de <http://luminocity3d.org/WorldCity/#3/11.70/20.21>
- ONU-HABITAT. 2012 Estado de las ciudades de América Latina y el Caribe: Rumbo a una nueva transición urbana. Río de Janeiro: Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos.
- ONU-HABITAT. (2020). Folleto de datos poblacionales: Estado global de las metrópolis 2020. Nairobi: Organización de las Naciones Unidas. Recuperado el julio de 2022.
- PÉREZ. L. 2017. Techos verdes, una estrategia frente al cambio climático: Para aquellas ciudades resilientes en las que se replantean el desarrollo, este sistema resulta ideal por sus numerosas ventajas: disminuye la polución del aire y el efecto de isla urbana, mejora la estética y la calidad de vida, conserva energía y retrasa el escurrimiento del agua de lluvia. RIA. Revista de investigaciones agropecuarias, 43(1), 16-19.
- PICONE. N. 2014. Clima urbano de la ciudad de Tandil. Tesis para optar al grado de Doctora en Geografía. Tandil, Universidad Nacional del Sur. 147p.
- PICONE, N., y CAMPO, A. (2016). Análisis del confort térmico de la ciudad de Tandil, Argentina. Revista Geográfica Venezolana, 114-127. Recuperado el julio de 2022
- QUINTANILLA, V., CADIÑANOS, J. A., y LOZANO, J. P. (2012). Aproximación biogeográfica de los bosques de la zona mediterránea de Chile: Caracterización e inventario. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, 91-114. Recuperado el 2022 de julio
- RAMOS, C. (2015). Paradigmas de la investigación científica. UNIFE, 9-17.
- RED CHILENA DE MUNICIPIOS ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO. (2017). Agenda de municipios ante el cambio climático. Santiago. Recuperado el julio de 2022
- REYES, S., y FIGUEROA, I. (2010). Distribución, superficie y accesibilidad de las áreas verdes en Santiago de Chile. EURE, 89-110.
- RIBEIRO, A. (1992). As escalas do clima. Boletim de geografia teorética, 288-294. Recuperado el julio de 2022

- ROMERO, H., y SARRICOLEA, P. (2006). Patrones y factores de crecimiento espacial de la ciudad de Santiago de Chile y sus efectos en la generación de Islas de Calor Urbana en superficie. 1-8.
- ROMERO, H. 2009. Ecología Política del Cambio Climático en Ciudades Chilenas: Características y vulnerabilidades sociales. Seminario Internacional Impactos Sociales del Cambio Climático a Nivel Internacional. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Sociales, 7-9 octubre 2009.
- ROMERO, H., SALGADO, M., y SMITH, P. (2010). Cambios climáticos y climas urbanos: Relación entre zonas termales y condiciones socioeconómicas de la población de Santiago de Chile. Revista INVI, 151-179. Recuperado el julio de 2022
- ROSELL, P., y VICENTE, M. (2016). Análisis del crecimiento demográfico y la relación entre espacios verdes y edificados en Darregueira con QGIS. Conferencia de geomática libre, (págs. 1-13). Buenos Aires.
- ROYE, D., y EZPELETA, A. (2016). Análisis espacio-temporal de las noches cálidas del litoral mediterráneo de España. X Congreso Internacional AEC: Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio, (págs. 1-12). Santiago de Compostela.
- SALA, M. y BATALLA, R. J. 1999. Teoría y métodos en Geografía Física. Editorial Síntesis. Madrid, España. 303 pp.
- SARRICOLEA, P., y MARTIN-VIDE, J. (2014). El estudio de la Isla de Calor Urbana de Superficie del Área metropolitana de Santiago de Chile, con imágenes Terra-MODIS y análisis de componentes principales. Revista de Geografía de Norte Grande, 123-141.
- SARRICOLEA, P., y ROMERO, H. (2010). Análisis de los factores condicionantes sobre las temperaturas de emisión superficial en el Área Metropolitana de Valparaíso, Chile. ACE: Architecture, City and Environment, 79-96. Recuperado el julio de 2022
- SARRICOLEA, P., ALISTE, E., CASTRO, P., y ESCOBEDO, C. (2008). Análisis de la máxima intensidad de la isla de calor urbana nocturna de la ciudad de Rancagua (Chile) y sus factores explicativos. Revista de Climatología, 71-84. Recuperado el julio de 2022
- SARRICOLEA, P., MESEGUER-RUÍZ, O., y HERRERA, M. J. (2016). Climatic regionalisation of continental Chile. Journal of Maps, 1-8. Recuperado el julio de 2022
- SERVICIO DE HIDROLOGÍA NAVAL. (2022). Servicio de Hidrología Naval. Obtenido de <http://www.hidro.gov.ar/observatorio/InformacionAstronomica.asp?op=4>
- SISTEMA DE INFORMACIÓN NACIONAL DE CALIDAD DEL AIRE. (2022). Obtenido de <https://sinca.mma.gob.cl/>
- SMITH, P., y ANDRADE, X. (2013). Distribución termal intraurbana en las ciudades de Santiago y Valparaíso. Análisis comparativo de sus factores explicativos. Investigaciones Geográficas, 25-46. Recuperado el junio de 2022
- SMITH, P., y HENRÍQUEZ, C. (2016). Calidad y justicia climática urbana de la ciudad de Chillán, Chile. 1-10. Recuperado el julio de 2022

- SMITH, P., y HENRÍQUEZ, C. (2021). Propuesta de un indicador para evaluar la calidad climática urbana: estudio de caso en una ciudad media mediterránea chilena. *Revista Colombiana de Geografía*, 144-157. Recuperado el julio de 2022
- SOSA, M. B., CORREA, E., y CANTÓN, M. A. (2013). ¿En qué medida la forma urbana afecta el comportamiento térmico exterior? Un estudio para reducir la isla de calor en una ciudad árida. *Acta del I Encuentro Nacional sobre Ciudad, Arquitectura y Construcción Sustentable*, (págs. 91-102).
- STEWART, I., y OKE, T. (2010). Thermal differentiation of local climates zones using temperatures observations from urban and rural field sites. *9th Symposium on Urban Environment*, (págs. 1-10). *Keystone, Colorado*. Recuperado el julio de 2022
- STEWART, I., y OKE, T. (2012). Local climates zones for urban temperatures studies. *American Meteorological Society*, 1879-1900.
- VELAZQUEZ, M., y FRANCO, A. (2015). Condiciones socioeconómicas y ambientales en los municipios vulnerables ante el cambio climático.
- VIEGAS, G., CHEVEZ, J., SAN JUAN, G., y DISCOLI, C. (2018). Comportamiento energético de mosaicos urbanos representativos (La Plata - Buenos Aires, Argentina): Influencia de las variaciones térmicas intraurbanas. *Ambiente Construido*, 175-194.
- VILAGRASA, JOAN 2000: Ciudades medias y ciudades intermedias: posicionamiento en la red urbana y procesos urbanos recientes.
- VOOGT, J. (2002). Urban Heat Island. *Encyclopedia of Global Environmental Change*, 660-666.
- VOOGT., J. A. y OKE., T.R. 2003. “Thermal remote sensing of urban climates” en *Remote Sensing of Environment*, 86. pp. 370-384.
- WAN, Z., HOOK, S., HULLEY, G. 2015. MOD11A1 MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity Daily L3 Global 1km SIN Grid V006 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. doi: 10.5067/MODIS/MOD11A1.006
- WILLIAMS, C., C. J. 2019. Intensidad de las Islas de calor urbanas superficiales en las principales conurbaciones de la V región de Valparaíso y factores geográficos explicativos para el caso específico de la conurbación del Gran Valparaíso. Tesis para optar al título profesional de Geógrafo. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo. 142p.
- YAMASHITA, S. (1990). The Urban Climate of Tokyo. *Geographical Review of Japan*, 98-107. Recuperado el julio de 2022
- ZULAICA, L., y VÁZQUEZ, P. (2020). Ciudades argentinas en el contexto del cambio climático: exploraciones para el análisis del riesgo y la resiliencia urbana. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 396-417. Recuperado el julio de 2022

6. ANEXOS

Anexo 1: Temperaturas de emisión superficial diurnas y nocturnas de las ciudades de San Felipe y Los Andes, correspondientes al cuatrimestre de verano 2001-2022



Anexo 2: Tabla de anomalías de temperaturas de emisión superficial de verano nocturnas de los puntos de medición de San Felipe, Chile

Anomalías t(°C)	Veranos																						Pendiente	2001-11		2012-22	
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022		<0°C	>0°C	<0°C	>0°C
mínimas	0,85	1,26	-0,42	-0,47	-0,17	-0,38	-0,36	-0,26	-0,09	-0,73	-0,92	0,24	-0,33	-0,20	0,19	0,09	0,58	0,09	0,12	1,02	-0,05	-0,05	0,0072	9	2	4	7
La Troya	0,85	1,26	-0,42	-0,47	-0,17	-0,38	-0,36	-0,26	-0,09	-0,73	-0,92	0,24	-0,33	-0,20	0,19	0,09	0,58	0,09	0,12	1,02	-0,05	-0,05	0,0072	9	2	4	7
Yungay Norte	1,04	1,35	-0,31	-0,44	-0,11	-0,35	-0,36	-0,25	-0,03	-0,71	-0,93	0,27	-0,34	-0,27	0,15	0,07	0,57	0,05	0,03	0,91	-0,15	-0,18	-0,0037	9	2	4	7
Villa Yévide	0,74	1,01	-0,32	-0,48	-0,21	-0,39	-0,51	-0,35	0,00	-0,71	-1,03	0,30	-0,34	-0,20	0,26	0,26	0,76	0,28	0,14	0,89	0,03	-0,13	0,0140	9	2	3	8
Encon	1,05	1,41	-0,29	-0,43	-0,11	-0,39	-0,33	-0,30	-0,11	-0,85	-0,98	0,20	-0,37	-0,38	0,09	0,17	0,59	0,09	0,05	0,96	0,00	-0,09	-0,0002	9	2	3	8
San Felipe Centro	0,88	1,13	-0,34	-0,46	-0,18	-0,39	-0,47	-0,33	-0,01	-0,72	-0,99	0,31	-0,35	-0,20	0,22	0,13	0,70	0,24	0,09	0,91	-0,03	-0,13	0,0083	9	2	4	7
Escuela Agrícola	0,85	1,18	-0,42	-0,40	-0,11	-0,33	-0,37	-0,24	0,03	-0,62	-0,92	0,28	-0,36	-0,24	0,16	0,01	0,61	0,17	0,08	0,90	-0,12	-0,13	0,0030	8	3	4	7

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

Anexo 3: Tabla de anomalías de temperaturas de emisión superficial de verano diurnas de los puntos de medición de San Felipe, Chile

Anomalías t(°c) max	Veranos																						Pendiente	2001-11		2012-22	
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022		<0°C	>0°C	<0°C	>0°C
La Troya	-2,83	-3,01	-0,66	-0,65	-0,61	-1,35	-1,66	0,08	-0,63	-0,55	-1,18	0,17	-0,22	0,36	1,51	0,08	0,26	0,81	1,95	4,31	1,67	2,12	0,2177	10	1	1	10
Yungay Norte	-2,57	-2,67	-0,76	-0,54	-0,48	-0,96	-1,14	0,14	-0,52	-0,53	-1,13	0,20	-0,13	0,29	1,49	-0,06	0,13	0,58	2,02	3,75	1,22	1,63	0,1856	10	1	2	9
Villa Yevide	-2,80	-2,94	-1,40	-0,87	-1,23	-1,53	-2,15	-0,68	-1,35	-1,05	-1,42	0,26	-0,18	1,00	2,54	1,02	0,83	1,36	2,68	3,90	1,74	2,30	0,2632	11	0	1	10
Encon	-3,07	-3,20	-0,61	-0,24	-0,42	-1,05	-1,53	-0,66	-1,21	-1,36	-1,69	-0,27	-0,32	-0,02	1,72	-0,17	0,10	0,65	2,59	4,90	2,64	3,24	0,2516	11	0	4	7
San Felipe Centro	-2,98	-3,12	-1,07	-0,52	-0,71	-1,09	-1,49	-0,38	-0,75	-0,59	-1,16	0,35	-0,15	0,76	2,07	0,62	0,51	1,07	2,31	3,48	1,14	1,69	0,2179	11	0	1	10
Escuela Agrícola	-2,62	-2,67	-0,67	-0,33	-0,60	-1,01	-1,40	-0,21	-0,39	-0,42	-1,10	0,23	-0,35	0,41	1,44	0,37	0,32	1,01	2,03	3,42	0,96	1,57	0,1866	11	0	1	10

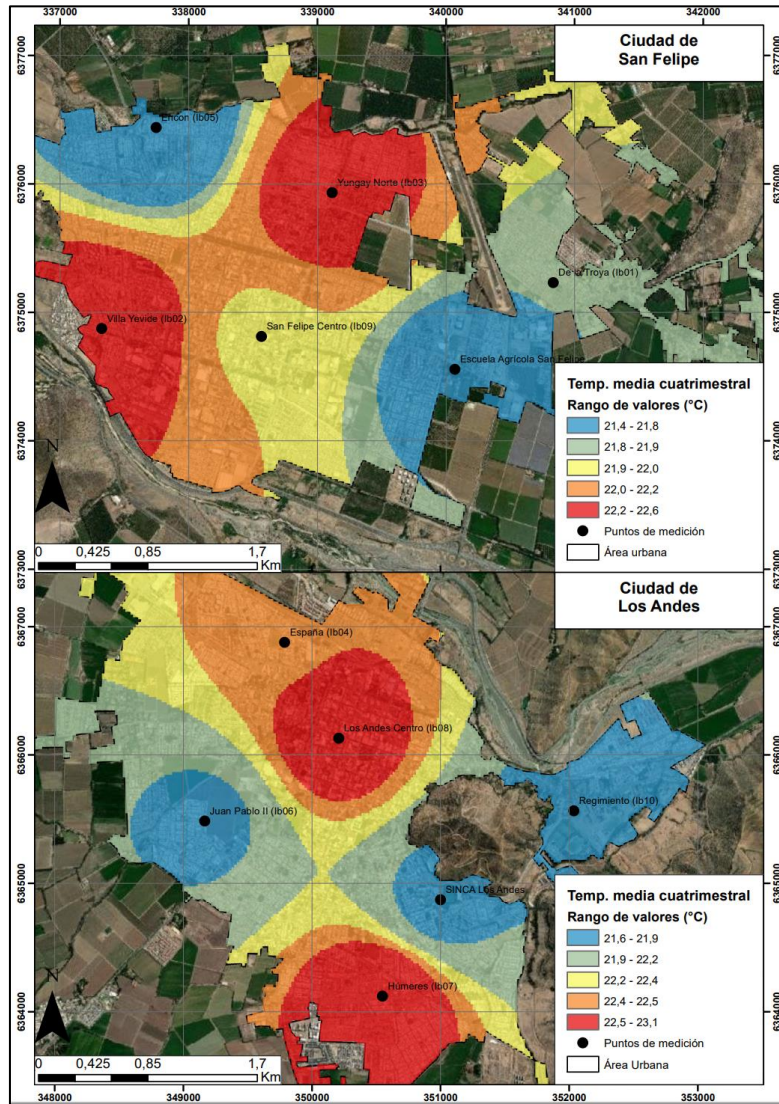
Anexo 4: Tabla de anomalías de temperaturas de emisión superficial de verano nocturnas de los puntos de medición de Los Andes, Chile

Anomalías t(°c) mínimas	Veranos																						P	2001-11		2012-22	
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022		<0°C	>0°C	<0°C	>0°C
España	1,19	1,49	-0,36	-0,45	-0,22	-0,24	-0,28	-0,23	-0,01	-0,67	-0,94	0,28	-0,35	-0,23	0,21	0,14	0,48	-0,05	-0,04	0,80	-0,19	-0,32	-0,0113	9	2	5	6
Juan Pablo II	1,19	1,54	-0,32	-0,52	-0,32	-0,25	-0,21	-0,23	0,01	-0,63	-0,90	0,23	-0,35	-0,28	0,19	0,20	0,57	-0,01	-0,07	0,75	-0,24	-0,35	-0,0119	8	3	5	6
Húmeres	1,48	1,85	-0,22	-0,56	-0,27	-0,17	-0,30	-0,18	0,12	-0,54	-0,90	0,32	-0,31	-0,23	0,14	0,08	0,37	-0,16	-0,21	0,65	-0,44	-0,54	-0,0296	8	3	5	6
Regimiento	0,97	1,40	-0,31	-0,42	-0,20	-0,28	-0,51	-0,18	0,04	-0,52	-0,99	0,31	-0,34	-0,16	0,28	0,20	0,47	-0,04	-0,05	0,85	-0,20	-0,33	-0,0066	8	3	5	6
Los Andes Centro	1,27	1,63	-0,33	-0,42	-0,22	-0,23	-0,34	-0,14	0,03	-0,57	-0,98	0,32	-0,37	-0,23	0,17	0,04	0,40	-0,07	-0,11	0,81	-0,29	-0,36	-0,0180	8	3	5	6
SINCA Los Andes	1,41	1,82	-0,26	-0,48	-0,24	-0,22	-0,42	-0,13	0,07	-0,50	-0,97	0,34	-0,35	-0,21	0,16	0,07	0,34	-0,16	-0,19	0,75	-0,38	-0,45	-0,0256	8	3	5	6

Anexo 5: Tabla de anomalías de temperaturas de emisión superficial de verano diurnas de los puntos de medición de Los Andes, Chile

Anomalías t(°c) máximas	Veranos																						P	2001-11		2012-22	
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022		<0°C	>0°C	<0°C	>0°C
España	-3,79	-3,83	-1,28	-0,08	-0,53	-1,06	-1,40	-0,13	-0,59	-0,47	-0,85	0,49	0,38	1,07	2,04	0,91	0,26	0,90	2,20	3,31	0,86	1,58	0,2232	11	0	11	0
Juan Pablo II	-3,11	-3,37	-0,95	0,14	-0,80	-0,73	-0,94	-0,21	-0,43	-0,17	-0,83	0,28	0,06	0,56	1,76	0,84	0,45	0,47	1,70	3,06	0,51	1,70	0,1878	10	1	11	0
Húmeres	-3,59	-3,65	-1,15	-0,40	-1,07	-1,03	-1,30	-0,02	-0,05	0,00	-0,75	0,67	0,18	0,60	1,77	1,05	0,25	1,04	1,92	3,28	0,74	1,48	0,2148	10	1	11	0
Regimiento	-2,94	-3,01	-1,10	0,33	-0,84	-1,43	-1,53	0,16	-0,49	-0,18	-0,57	0,75	0,23	0,79	2,03	0,90	-0,07	0,44	1,81	2,78	0,65	1,28	0,1818	9	2	10	1
Los Andes Centro	-3,08	-3,31	-0,97	0,03	-0,79	-1,05	-1,31	0,08	-0,32	-0,13	-0,77	0,63	0,13	0,79	1,71	0,76	0,04	0,64	1,85	2,98	0,72	1,36	0,1877	9	2	11	0
SINCA Los Andes	-3,10	-3,31	-0,99	-0,02	-0,85	-1,06	-1,23	0,22	-0,14	0,06	-0,71	0,74	0,17	0,66	1,65	0,92	-0,07	0,57	1,72	2,90	0,63	1,24	0,1823	9	2	10	1

Anexo 6: Temperatura media cuatrimestral de las ciudades de San Felipe y Los Andes



Anexo 7: Tabla generalizada de los valores térmicos medios mensuales en todos los puntos de medición de San Felipe, correspondientes al cuatrimestre de verano 2021-22.

	Temperatura	Esc. Agrícola	San Felipe Centro	Villa Yevide	Encon	Yungay Norte	De la Troya
Diciembre	Mínima	10,7	12,8	13,0	12,2	14,0	12,3
	Media	20,9	22,5	23,1	21,8	23,3	22,4
	Máxima	32,2	32,7	34,7	33,1	33,4	34,4
	Amplitud	21,5	19,9	21,7	20,9	19,4	22,1
Enero	Mínimas	11,8	13,4	14,5	13,0	14,6	13,3
	Media	21,4	22,2	23,5	22,2	23,5	22,7
	Máxima	31,3	31,7	34,3	33,0	33,5	34,0
	Amplitud	19,4	18,4	19,8	20,0	18,9	20,7
Febrero	Mínimas	10,8	13,4	14,5	12,6	14,2	12,4
	Media	20,8	22,1	22,6	21,5	22,6	21,9
	Máxima	31,0	31,6	33,1	32,1	32,6	33,0
	Amplitud	20,3	18,2	18,6	19,5	18,4	20,5
Marzo	Mínimas	9,2	11,9	12,6	10,8	12,8	10,6
	Media	19,5	21,0	21,3	19,9	20,9	20,3
	Máxima	30,9	31,1	33,2	31,4	30,9	31,8
	Amplitud	21,6	19,2	20,6	20,6	18,1	21,2

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

Anexo 8: Tablas de temperaturas medias horarias del mes de diciembre (1) y variaciones térmicas por hora (2) en San Felipe

Puntos	Temperatura del aire media horaria - Diciembre 2021 - San Felipe																							
	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
Esc. Agrícola	17,0	15,7	14,6	13,5	12,6	11,9	11,4	11,3	14,7	17,4	20,3	23,0	25,9	28,4	30,1	30,9	31,0	30,5	29,4	27,8	25,2	22,2	20,3	18,6
Centro	17,9	16,8	15,9	15,1	14,3	13,8	13,2	12,9	14,5	19,5	23,1	26,4	29,0	30,8	32,0	32,4	32,2	31,3	30,3	28,6	26,2	23,5	21,3	19,4
V. Yevide	19,1	17,6	16,5	15,6	14,7	14,1	13,5	13,1	14,1	16,2	19,1	22,6	27,1	30,4	33,0	34,2	33,9	34,1	34,0	32,4	28,6	25,6	23,3	21,1
Encon	17,4	16,3	15,3	14,4	13,6	13,0	12,5	12,3	14,5	17,8	21,0	24,3	27,3	29,3	31,0	32,1	32,8	32,7	30,4	28,1	25,2	22,5	20,6	18,9
Yungay Norte	19,1	18,0	17,1	16,2	15,5	14,9	14,3	14,0	15,4	22,4	23,3	26,0	28,9	30,9	32,4	33,2	33,1	32,4	30,8	28,8	26,5	24,0	22,2	20,6
La Troya	18,1	16,9	15,9	15,0	14,2	13,4	12,8	12,4	13,7	16,4	19,9	23,5	27,2	30,1	32,1	33,8	34,2	33,7	32,6	30,9	26,0	23,1	21,1	19,5

Puntos	Variaciones horarias de temperaturas durante Diciembre 2021 - San Felipe																							
	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
Esc. Agrícola	-1,6	-1,3	-1,1	-1,1	-0,9	-0,7	-0,5	-0,1	3,4	2,7	2,9	2,7	2,9	2,5	1,7	0,8	0,1	-0,5	-1,1	-1,6	-2,6	-3,0	-1,9	-1,7
Centro	-1,5	-1,1	-0,9	-0,8	-0,8	-0,5	-0,6	-0,3	1,6	5,0	3,6	3,3	2,6	1,8	1,2	0,4	-0,2	-0,9	-1,0	-1,7	-2,4	-2,7	-2,2	-1,9
V. Yevide	-2,0	-1,5	-1,1	-0,9	-0,9	-0,6	-0,6	-0,4	1,0	2,1	2,9	3,5	4,5	3,3	2,6	1,2	-0,3	0,2	-0,1	-1,6	-3,8	-3,0	-2,3	-2,2
Encon	-1,5	-1,1	-1,0	-0,9	-0,8	-0,6	-0,5	-0,2	2,2	3,3	3,2	3,3	3,0	2,0	1,7	1,1	0,7	-0,1	-2,3	-2,3	-2,9	-2,7	-1,9	-1,7
Yungay Norte	-1,5	-1,1	-0,9	-0,9	-0,7	-0,6	-0,6	-0,3	1,4	7,0	0,9	2,7	2,9	2,0	1,5	0,8	-0,1	-0,7	-1,6	-2,0	-2,3	-2,5	-1,8	-1,6
La Troya	-1,4	-1,2	-1,0	-0,9	-0,8	-0,8	-0,6	-0,4	1,3	2,7	3,5	3,6	3,7	2,9	2,0	1,7	0,4	-0,5	-1,1	-1,7	-4,9	-2,9	-2,0	-1,6

Anexo 9: Tablas de temperaturas medias horarias del mes de enero (1) y variaciones térmicas por hora (2) en San Felipe

Puntos	Temperatura del aire media horaria de Enero 2022 - San Felipe																							
	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
Esc. Agrícola	17,8	16,6	15,6	14,6	13,7	13,0	12,5	11,9	14,4	17,2	20,2	22,9	25,6	28,0	29,9	31,0	31,0	30,6	29,5	28,3	25,9	22,8	20,8	19,3
Centro	18,1	17,1	16,2	15,5	14,9	14,2	13,7	13,3	14,0	17,7	21,1	24,0	27,3	29,2	30,6	31,5	31,5	30,9	29,7	28,3	26,1	23,4	21,5	19,8
V. Yevide	20,7	19,2	18,2	17,1	16,4	15,7	15,2	14,7	15,0	16,5	19,0	21,8	25,4	28,5	31,1	33,6	34,2	33,5	33,1	33,1	29,8	26,6	24,4	22,5
Encon	18,2	17,1	16,2	15,4	14,6	14,0	13,6	13,1	14,5	17,8	20,6	23,8	27,0	29,2	30,8	32,0	32,6	32,2	32,0	28,4	25,7	23,0	21,4	19,7
Yungay Norte	19,9	18,8	17,9	17,0	16,3	15,7	15,1	14,7	15,6	20,8	22,0	24,8	27,7	30,3	32,0	33,1	33,4	32,7	31,2	29,1	26,9	24,5	22,7	21,2
La Troya	19,0	17,8	16,9	16,1	15,2	14,5	13,9	13,3	14,0	16,2	19,6	23,2	26,5	29,6	31,9	33,2	33,7	33,5	32,4	31,0	26,8	23,8	21,8	20,4

Puntos	Variaciones horarias de la temperatura del aire de Enero 2022 - San Felipe																							
	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
Esc. Agrícola	-1,5	-1,2	-1,0	-1,0	-0,9	-0,7	-0,5	-0,6	2,5	2,8	3,0	2,7	2,7	2,4	1,9	1,1	0,0	-0,4	-1,1	-1,2	-2,4	-3,1	-2,0	-1,5
Centro	-1,7	-1,0	-0,9	-0,7	-0,6	-0,7	-0,5	-0,4	0,7	3,7	3,5	2,9	3,3	1,9	1,4	0,9	0,0	-0,6	-1,2	-1,4	-2,2	-2,7	-2,0	-1,7
V. Yevide	-1,8	-1,5	-1,0	-1,1	-0,7	-0,7	-0,5	-0,5	0,3	1,5	2,5	2,8	3,6	3,1	2,6	2,5	0,6	-0,7	-0,4	0,0	-3,3	-3,2	-2,2	-1,9
Encon	-1,5	-1,1	-0,9	-0,8	-0,8	-0,6	-0,4	-0,5	1,4	3,3	2,8	3,2	3,2	2,2	1,6	1,2	0,6	-0,4	-0,2	-3,6	-2,7	-2,7	-1,6	-1,7
Yungay Norte	-1,3	-1,1	-0,9	-0,9	-0,7	-0,6	-0,6	-0,4	0,9	5,2	1,2	2,8	2,9	2,6	1,7	1,1	0,3	-0,7	-1,5	-2,1	-2,2	-2,4	-1,8	-1,5
La Troya	-1,4	-1,2	-0,9	-0,8	-0,9	-0,7	-0,6	-0,6	0,7	2,2	3,4	3,6	3,3	3,1	2,3	1,3	0,5	-0,2	-1,1	-1,4	-4,2	-3,0	-2,0	-1,4

Anexo 10: Tablas de temperaturas medias horarias del mes de febrero (1) y variaciones térmicas por hora (2) en San Felipe

Puntos	Temperatura media horaria de Febrero 2022 - San Felipe																							
	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
Esc. Agrícola	17,5	16,3	15,1	13,9	13,0	12,2	11,7	11,0	11,6	16,6	19,7	22,6	25,1	27,8	29,7	30,4	30,7	30,2	29,3	27,8	25,0	22,2	20,4	18,9
Centro	18,6	17,4	16,7	16,0	15,3	14,5	14,0	13,5	13,5	17,1	20,9	24,3	27,1	29,1	30,6	31,4	31,3	30,6	29,4	28,1	26,1	23,5	21,7	20,1
V. Yevide	20,9	19,4	18,4	17,5	16,7	15,8	15,3	14,8	14,5	15,5	17,4	20,0	23,1	26,2	28,6	32,2	33,1	31,5	30,5	29,8	28,3	26,0	24,1	22,5
Encon	18,0	16,8	15,9	15,1	14,4	13,7	13,2	12,7	12,8	15,5	19,2	22,5	25,7	28,4	30,1	31,8	31,6	31,6	30,4	28,0	25,0	22,8	21,0	19,3
Yungay Norte	19,5	18,4	17,5	16,6	16,0	15,4	14,8	14,4	17,3	20,1	23,2	26,5	29,4	31,2	32,1	32,4	31,8	30,4	28,4	26,0	23,6	22,1	20,7	
La Troya	18,8	17,7	16,6	15,6	14,8	14,0	13,3	12,7	12,5	15,0	18,5	22,2	25,8	28,9	31,3	32,3	32,6	32,4	31,2	29,2	25,9	23,0	21,3	20,1

Puntos	Variación media horaria de la temperatura de Febrero 2022 - San Felipe																							
	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
Esc. Agrícola	-1,4	-1,2	-1,2	-1,2	-0,9	-0,8	-0,5	-0,7	0,6	5,0	3,1	2,9	2,5	2,7	1,9	0,7	0,3	-0,5	-0,9	-1,5	-2,8	-2,8	-1,8	-1,5
Centro	-1,5	-1,2	-0,7	-0,7	-0,7	-0,8	-0,5	-0,5	0,0	3,6	3,8	3,4	2,8	2,0	1,5	0,8	-0,1	-0,7	-1,2	-1,3	-2,0	-2,6	-1,8	-1,6
V. Yevide	-1,6	-1,5	-1,0	-0,9	-0,8	-0,9	-0,5	-0,5	-0,3	1,0	1,9	2,6	3,1	3,1	2,4	3,6	0,9	-1,6	-1,0	-0,7	-1,5	-2,3	-1,9	-1,6
Encon	-1,3	-1,2	-0,9	-0,8	-0,7	-0,7	-0,5	-0,5	0,1	2,7	3,7	3,3	3,2	2,7	1,7	1,7	-0,2	0,0	-1,2	-2,4	-3,0	-2,2	-1,8	-1,7
Yungay Norte	-1,2	-1,1	-0,9	-0,9	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	0,2	2,9	2,8	3,1	3,3	2,9	1,8	0,9	0,3	-0,6	-1,4	-2,0	-2,4	-2,4	-1,5	-1,4
La Troya	-1,3	-1,1	-1,1	-1,0	-0,8	-0,8	-0,7	-0,6	-0,2	2,5	3,5	3,7	3,6	3,1	2,4	1,0	0,3	-0,2	-1,2	-2,0	-3,3	-2,9	-1,7	-1,2

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

Anexo 11: Tablas de temperaturas medias horarias del mes de marzo (1) y variaciones térmicas por hora (2) en San Felipe

Puntos	Temperatura del aire media horaria de Marzo 2022 - San Felipe																							
	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
Esc. Agrícola	16,0	14,6	13,2	12,2	11,4	10,6	10,0	9,5	9,4	13,4	17,7	21,1	23,9	26,7	29,2	30,4	30,4	30,0	29,1	27,1	23,3	20,9	19,0	17,4
Centro	17,9	16,8	15,9	15,0	14,1	13,5	12,8	12,3	11,9	14,6	18,7	22,7	25,3	28,1	29,8	30,7	30,9	30,1	28,9	27,3	24,8	22,5	20,7	19,0
V. Yevide	19,6	18,4	17,2	16,2	15,3	14,5	13,8	13,2	12,7	13,3	15,2	17,8	21,0	24,3	27,3	31,8	33,2	30,9	30,1	29,8	26,9	24,6	22,6	20,8
Encon	16,7	15,4	14,5	13,6	12,8	12,2	11,7	11,2	10,9	12,6	16,4	20,0	23,3	26,5	28,7	30,3	30,8	31,0	29,6	27,0	23,8	21,7	19,6	18,0
Yungay Norte	18,5	17,4	16,4	15,5	14,7	14,0	13,4	13,0	12,9	14,3	17,1	20,2	23,8	27,0	29,0	30,3	30,7	30,1	28,9	27,0	24,4	22,4	20,8	19,4
La Troya	17,7	16,4	15,1	14,0	13,1	12,3	11,6	11,1	10,7	12,2	16,0	20,1	23,9	27,5	30,1	31,4	31,6	31,0	29,6	27,2	24,1	22,0	20,4	18,8

Puntos	Variación horaria de la temperatura del aire en Marzo 2022 - San Felipe																							
	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
Esc. Agrícola	-1,4	-1,4	-1,4	-1,0	-0,8	-0,8	-0,6	-0,5	-0,1	4,0	4,3	3,4	2,8	2,8	2,5	1,2	0,0	-0,4	-0,9	-2,0	-3,8	-2,4	-1,9	-1,6
Centro	-1,1	-1,1	-0,9	-0,9	-0,9	-0,6	-0,7	-0,5	-0,4	2,7	4,1	4,0	2,6	2,8	1,7	0,9	0,2	-0,8	-1,2	-1,6	-2,5	-2,3	-1,8	-1,7
V. Yevide	-1,2	-1,2	-1,2	-1,0	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	0,6	1,9	2,6	3,2	3,3	3,0	4,5	1,4	-2,3	-0,8	-0,3	-2,9	-2,3	-2,0	-1,8
Encon	-1,3	-1,3	-0,9	-0,9	-0,8	-0,6	-0,5	-0,5	-0,3	1,7	3,8	3,6	3,3	3,2	2,2	1,6	0,5	0,2	-1,4	-2,6	-3,2	-2,1	-2,1	-1,6
Yungay Norte	-0,9	-1,1	-1,0	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,4	-0,1	1,4	2,8	3,1	3,6	3,2	2,0	1,3	0,4	-0,6	-1,2	-1,9	-2,6	-2,0	-1,6	-1,4
La Troya	-1,1	-1,3	-1,3	-1,1	-0,9	-0,8	-0,7	-0,5	-0,4	1,5	3,8	4,1	3,8	3,6	2,6	1,3	0,2	-0,6	-1,4	-2,4	-3,1	-2,1	-1,6	-1,6

Anexo 12: Tabla generalizada de los valores térmicos medios mensuales en todos los puntos de medición de Los Andes, correspondientes al cuatrimestre de verano 2021-22.

Mes	Temperatura	SINCA	Húmeres	Juan Pablo II	España	Los Andes Centro	Regimiento
Diciembre	Mínima	13,2	15,3	12,0	14,5	15,9	12,1
	Media	22,2	24,4	22,6	23,4	23,5	22,3
	Máxima	31,6	33,2	34,7	34,0	33,2	32,1
	Amplitud	18,5	17,9	22,7	19,5	17,2	20,0
Enero	Mínima	13,6	15,7	13,1	14,7	16,4	12,9
	Media	22,2	24,3	22,8	23,3	23,5	22,5
	Máxima	31,2	32,5	33,7	32,9	32,7	32,4
	Amplitud	17,5	16,8	20,6	18,3	16,3	19,6
Febrero	Mínima	13,0	15,0	11,9	13,8	16,0	11,9
	Media	21,5	22,6	21,7	22,4	23,0	21,6
	Máxima	30,8	30,0	32,8	31,8	32,0	31,7
	Amplitud	17,8	15,0	20,9	17,9	16,0	19,8
Marzo	Mínima	11,9	13,3	9,5	12,5	15,0	10,2
	Media	20,5	20,9	19,7	20,9	21,7	20,0
	Máxima	30,2	28,6	31,6	30,8	31,2	30,2
	Amplitud	18,3	15,3	22,1	18,3	16,2	20,0

Anexo 13: Tablas de temperaturas medias horarias del mes de diciembre (1) y variaciones térmicas por hora (2) de Los Andes

Puntos	Temperatura del aire media horaria de Diciembre 2021 - Los Andes																							
	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
SINCA	18,2	17,2	16,0	15,1	14,4	13,8	13,2	13,5	16,1	19,0	22,0	25,2	27,4	29,2	30,4	31,2	31,5	31,3	30,5	29,0	25,7	22,3	20,7	19,5
Húmeres	20,8	19,7	18,7	17,7	16,9	16,4	15,6	15,3	18,2	21,7	24,7	26,8	29,1	30,1	31,5	32,5	33,0	32,8	32,1	30,9	29,0	25,6	23,4	22,0
Juan Pablo II	18,3	17,1	15,9	15,0	14,0	13,2	12,5	12,1	14,0	16,7	20,2	23,7	27,1	29,9	31,9	33,6	34,7	33,7	32,5	31,8	27,8	23,9	21,8	19,9
España	20,1	18,9	17,9	17,0	16,2	15,4	14,9	14,5	16,2	18,9	21,7	24,6	27,4	29,7	33,1	32,7	33,0	32,2	31,5	29,9	27,3	24,7	22,9	21,4
Municipalidad	20,6	19,6	18,8	18,0	17,4	16,8	16,3	16,0	17,2	18,6	20,4	22,5	25,0	28,6	30,5	31,8	32,7	33,0	32,4	31,0	28,4	24,7	23,0	21,7
Regimiento	18,0	16,9	15,6	14,7	13,8	13,1	12,5	12,2	15,0	19,9	24,1	26,1	28,0	29,8	30,8	31,4	32,0	31,3	30,3	29,1	26,3	22,8	20,6	19,2

Puntos	Temperatura del aire media horaria de Diciembre 2021 - Los Andes																							
	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
SINCA	-1,3	-1,2	-0,9	-0,7	-0,6	-0,6	0,3	2,6	2,9	3,0	3,2	2,2	1,8	1,2	0,8	0,3	-0,2	-0,8	-1,5	-3,3	-3,4	-1,6	-1,2	-1,2
Húmeres	-1,2	-1,1	-1,0	-1,0	-0,8	-0,5	-0,8	-0,3	2,9	3,5	3,0	2,1	2,3	1,0	1,4	1,0	0,5	-0,2	-0,7	-1,2	-1,9	-3,4	-2,2	-1,4
Juan Pablo II	-1,6	-1,2	-1,2	-0,9	-1,0	-0,8	-0,7	-0,4	1,9	2,7	3,5	3,5	3,4	2,8	2,0	1,7	1,1	-1,0	-1,2	-0,7	-4,0	-3,9	-2,1	-1,9
España	-1,3	-1,2	-1,0	-0,9	-0,8	-0,8	-0,5	-0,4	1,7	2,7	2,8	2,9	2,8	2,3	3,4	-0,4	0,3	-0,8	-0,7	-1,6	-2,6	-2,6	-1,8	-1,5
Municipalidad	-1,1	-1,0	-0,8	-0,8	-0,6	-0,6	-0,5	-0,3	1,2	1,4	1,8	2,1	2,5	3,6	1,9	1,3	0,9	0,3	-0,6	-1,4	-2,6	-3,7	-1,7	-1,3
Regimiento	-1,2	-1,1	-1,3	-0,9	-0,9	-0,7	-0,6	-0,3	2,8	4,9	4,2	2,0	1,9	1,8	1,0	0,6	0,6	-0,7	-1,0	-1,2	-2,8	-3,5	-2,2	-1,4

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

Anexo 14: Tablas de temperaturas medias horarias del mes de enero (1) y variaciones térmicas por hora (2) de Los Andes

Puntos	Temperatura del aire media horaria de Enero 2022 - Los Andes																							
	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
SINCA	18,7	17,6	16,6	15,7	15,0	14,4	13,8	13,7	15,5	18,6	21,5	24,5	26,8	28,6	29,9	30,7	31,0	30,8	30,2	29,0	26,2	22,5	21,0	19,8
Húmeres	20,9	20,1	19,2	18,2	17,5	16,7	16,2	15,7	17,2	21,1	24,9	26,8	29,1	30,5	31,3	32,0	32,0	31,9	31,6	30,5	29,0	25,9	23,6	21,9
Juan Pablo II	19,2	18,0	16,9	15,9	15,0	14,3	13,7	13,1	13,9	16,1	19,4	22,8	25,6	28,5	30,9	32,7	33,5	33,3	32,2	30,5	28,4	25,0	22,5	20,7
España	20,3	19,4	18,3	17,5	16,7	15,9	15,7	14,6	15,9	18,3	21,3	23,9	26,6	29,0	30,9	32,6	32,3	31,9	31,1	29,8	27,5	24,8	22,8	21,5
Municipalidad	21,1	20,1	19,2	18,6	17,9	17,4	16,9	16,5	17,0	18,7	20,2	22,2	24,3	27,6	29,7	31,3	32,4	32,4	32,0	30,7	28,7	25,1	23,2	22,1
Regimiento	18,6	17,6	16,7	15,7	14,8	14,0	13,4	12,9	14,5	18,4	23,5	25,8	27,6	29,3	30,7	31,4	33,0	31,4	30,6	29,4	27,0	23,4	21,2	19,9

Puntos	Variaciones horarias de la temperatura del aire de enero 2022 - Los Andes																							
	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
SINCA	-1,1	-1,1	-1,0	-0,9	-0,7	-0,6	-0,6	-0,1	1,8	3,1	2,9	3,0	2,3	1,8	1,3	0,8	0,3	-0,2	-0,6	-1,2	-2,8	-3,7	-1,5	-1,2
Húmeres	-1,0	-0,8	-0,9	-1,0	-0,7	-0,8	-0,5	-0,5	1,5	3,9	3,8	1,9	2,3	1,4	0,8	0,7	0,0	-0,1	-0,3	-1,1	-1,5	-3,1	-2,3	-1,7
Juan Pablo II	-1,5	-1,2	-1,1	-1,0	-0,9	-0,7	-0,6	-0,6	0,8	2,2	3,3	3,4	2,8	2,9	2,4	1,8	0,8	-0,2	-1,1	-1,7	-2,1	-3,4	-2,5	-1,8
España	-1,2	-0,9	-1,1	-0,8	-0,8	-0,2	-1,1	1,3	2,4	3,0	2,6	2,7	2,4	1,9	1,7	-0,3	-0,4	-0,8	-1,3	-2,3	-2,7	-2,0	-1,3	
Municipalidad	-1,0	-1,0	-0,9	-0,6	-0,7	-0,5	-0,5	-0,4	0,5	1,7	1,5	2,0	2,1	3,3	2,1	1,6	1,1	0,0	-0,4	-1,3	-2,0	-3,6	-1,9	-1,1
Regimiento	-1,3	-1,0	-0,9	-1,0	-0,9	-0,8	-0,6	-0,5	1,6	3,9	5,1	2,3	1,8	1,7	1,4	0,7	1,6	-1,6	-0,8	-1,2	-2,4	-3,6	-2,2	-1,3

Anexo 15: Tablas de temperaturas medias horarias del mes de febrero (1) y variaciones térmicas por hora (2) de Los Andes

Puntos	Temperatura del aire horaria de Febrero 2022 - Los Andes																							
	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
SINCA	18,0	17,0	16,1	15,2	14,4	13,9	13,3	13,0	13,9	17,5	21,2	24,2	26,3	28,3	29,6	30,4	30,5	30,3	29,5	28,2	24,8	21,9	20,4	19,1
Húmeres	20,4	19,5	18,6	17,9	17,0	16,4	15,7	15,3	15,2	18,3	21,3	23,2	25,2	27,2	28,4	29,3	29,8	29,8	29,6	28,9	27,3	24,3	22,9	21,5
Juan Pablo II	18,8	17,5	16,3	15,3	14,3	13,5	12,6	12,1	12,0	14,7	17,8	21,5	24,4	27,3	29,8	31,8	32,5	32,3	31,5	29,8	27,4	24,2	22,0	20,3
España	19,6	18,5	17,6	16,7	15,8	15,2	14,6	14,0	14,3	17,2	20,3	23,1	25,7	28,1	30,1	31,2	31,4	31,1	30,3	29,0	26,5	23,8	22,1	20,8
Municipalidad	20,6	19,7	19,0	18,3	17,7	17,1	16,6	16,2	16,3	17,9	19,7	21,6	23,8	26,3	28,9	30,5	31,1	31,6	31,6	30,3	27,4	24,3	22,7	21,6
Regimiento	17,9	16,8	15,7	14,7	13,9	13,1	12,4	12,0	12,3	17,4	22,7	25,4	27,0	28,6	30,9	30,7	31,1	30,6	29,8	28,6	25,6	22,4	20,5	19,1

Puntos	Variación horaria de la temperatura del aire de Febrero 2022 - Los Andes																							
	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
SINCA	-1,1	-1,0	-0,9	-0,9	-0,8	-0,5	-0,6	-0,3	0,9	3,6	3,7	3,0	2,1	2,0	1,3	0,8	0,1	-0,2	-0,8	-1,3	-3,4	-2,9	-1,5	-1,3
Húmeres	-1,1	-0,9	-0,9	-0,7	-0,9	-0,6	-0,7	-0,4	-0,1	3,1	3,0	1,9	2,0	2,0	1,2	0,9	0,5	0,0	-0,2	-0,7	-1,6	-3,0	-1,4	-1,4
Juan Pablo II	-1,5	-1,3	-1,2	-1,0	-1,0	-0,8	-0,9	-0,5	-0,1	2,7	3,1	3,7	2,9	2,9	2,5	2,0	0,7	-0,2	-0,8	-1,7	-2,4	-3,2	-2,2	-1,7
España	-1,2	-1,1	-0,9	-0,9	-0,9	-0,6	-0,6	-0,6	0,3	2,9	3,1	2,8	2,6	2,4	2,0	1,1	0,2	-0,3	-0,8	-1,3	-2,5	-2,7	-1,7	-1,3
Municipalidad	-1,0	-0,9	-0,7	-0,7	-0,6	-0,6	-0,5	-0,4	0,1	1,6	1,8	1,9	2,2	2,5	2,6	1,6	0,6	0,5	0,0	-1,3	-2,9	-3,1	-1,6	-1,1
Regimiento	-1,2	-1,1	-1,1	-1,0	-0,8	-0,8	-0,7	-0,4	0,3	5,1	5,3	2,7	1,6	1,6	2,3	-0,2	0,4	-0,5	-0,8	-1,2	-3,0	-3,2	-1,9	-1,4

Anexo 16: Tablas de temperaturas medias horarias del mes de marzo (1) y variaciones térmicas por hora (2) de Los Andes

Puntos	Temperatura media horaria de Marzo 2022 - Los Andes																							
	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
SINCA	16,7	15,8	14,8	14,1	13,5	13,0	12,4	12,0	12,5	15,8	20,4	23,1	25,7	27,6	29,2	29,9	30,0	29,6	28,7	26,4	22,6	20,5	19,2	17,8
Húmeres	19,3	18,1	17,3	16,4	15,6	14,9	14,4	13,9	13,6	15,3	18,3	20,6	23,1	25,1	26,6	27,7	28,4	28,5	28,2	27,2	25,1	22,9	21,5	20,2
Juan Pablo II	16,7	15,3	14,4	13,1	12,2	11,4	10,8	10,0	9,6	11,8	15,7	19,3	22,4	25,3	28,2	30,5	31,4	31,3	30,2	28,1	25,1	22,1	19,9	18,0
España	18,1	17,0	16,2	15,3	14,6	13,9	13,4	12,8	12,5	14,6	17,8	21,1	24,2	26,7	28,9	30,5	30,4	30,2	29,0	27,3	24,4	22,1	20,5	19,1
Municipalidad	19,5	18,7	17,9	17,2	16,7	16,2	15,6	15,3	15,2	16,6	18,4	20,3	22,5	25,0	27,2	29,0	30,0	30,6	30,9	29,0	25,1	22,9	21,5	20,4
Regimiento	16,4	15,2	14,2	13,2	12,3	11,7	11,1	10,5	10,3	13,1	18,7	24,9	26,1	27,8	29,1	30,0	30,0	29,8	28,6	27,0	23,6	20,6	18,9	17,5

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

Puntos	Variación horaria de la temperatura del aire en Marzo 2022 - Los Andes																							
	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
SINCA	-1,1	-0,9	-1,0	-0,7	-0,6	-0,5	-0,6	-0,4	0,5	3,3	4,6	2,7	2,6	1,9	1,6	0,7	0,1	-0,4	-0,9	-2,3	-3,8	-2,1	-1,3	-1,4
Húmeres	-0,9	-1,2	-0,8	-0,9	-0,8	-0,7	-0,5	-0,5	-0,3	1,7	3,0	2,3	2,5	2,0	1,5	1,1	0,7	0,1	-0,3	-1,0	-2,1	-2,2	-1,4	-1,3
Juan Pablo II	-1,3	-1,4	-0,9	-1,3	-0,9	-0,8	-0,6	-0,8	-0,4	2,2	3,9	3,6	3,1	2,9	2,9	2,3	0,9	-0,1	-1,1	-2,1	-3,0	-3,0	-2,2	-1,9
España	-1,0	-1,1	-0,8	-0,9	-0,7	-0,7	-0,5	-0,6	-0,3	2,1	3,2	3,3	3,1	2,5	2,2	1,6	-0,1	-0,2	-1,2	-1,7	-2,9	-2,3	-1,6	-1,4
Municipalidad	-0,9	-0,8	-0,8	-0,7	-0,5	-0,5	-0,6	-0,3	-0,1	1,4	1,8	1,9	2,2	2,5	2,2	1,8	1,0	0,6	0,3	-1,9	-3,9	-2,2	-1,4	-1,1
Regimiento	-1,1	-1,2	-1,0	-1,0	-0,9	-0,6	-0,6	-0,6	-0,2	2,8	5,6	6,2	1,2	1,7	1,3	0,9	0,0	-0,2	-1,2	-1,6	-3,4	-3,0	-1,7	-1,4

Anexo 17: Tabla de datos medios de los indicadores meteorológicos < 30, [30 – 32,5), [32,5 – 35) y >= 35 de cada mes en los puntos de medición de San Felipe

Mes	Indicadores	Esc. Agrícola	Sn. Felipe Centro	Villa Yevide	Encon	Yungay	De la Troya
Diciembre	< 30	26%	17%	10%	16%	16%	10%
	[30 - 32,5)	16%	20%	10%	13%	6%	13%
	[32,5 - 35)	45%	47%	29%	42%	45%	26%
	>= 35	13%	17%	52%	29%	32%	52%
Enero	< 30	19%	11%	3%	6%	6%	0%
	[30 - 32,5)	52%	53%	16%	32%	16%	23%
	[32,5 - 35)	29%	37%	39%	48%	52%	39%
	>= 35	0%	0%	42%	13%	26%	39%
Febrero	< 30	29%	14%	11%	14%	11%	11%
	[30 - 32,5)	39%	54%	25%	39%	32%	25%
	[32,5 - 35)	32%	29%	36%	32%	43%	50%
	>= 35	0%	4%	29%	14%	14%	14%
Marzo	< 30	26%	23%	10%	19%	32%	23%
	[30 - 32,5)	52%	55%	23%	42%	39%	35%
	[32,5 - 35)	23%	23%	42%	39%	29%	29%
	>= 35	0%	0%	26%	0%	0%	13%

Anexo 18: Tabla de datos medios de los indicadores meteorológicos < 30, [30 – 32,5), [32,5 – 35) y >= 35 de cada mes en los puntos de medición de Los Andes

Mes	Indicadores	SINCA	Húmeres	Juan Pablo II	España	Los Andes Centro	Regimiento
Diciembre	< 30	24%	13%	3%	10%	13%	19%
	[30 - 32,5)	31%	23%	10%	13%	26%	29%
	[32,5 - 35)	34%	42%	39%	42%	39%	42%
	>= 35	10%	23%	48%	35%	23%	10%
Enero	< 30	16%	10%	6%	6%	10%	10%
	[30 - 32,5)	61%	39%	16%	23%	19%	26%
	[32,5 - 35)	23%	42%	48%	52%	68%	55%
	>= 35	0%	10%	29%	19%	3%	10%
Febrero	< 30	43%	46%	7%	18%	14%	21%
	[30 - 32,5)	29%	43%	39%	39%	36%	43%
	[32,5 - 35)	29%	0%	21%	21%	46%	25%
	>= 35	0%	11%	32%	21%	4%	11%
Marzo	< 30	39%	71%	23%	29%	26%	32%
	[30 - 32,5)	48%	29%	35%	45%	42%	52%
	[32,5 - 35)	13%	0%	39%	26%	29%	16%
	>= 35	0%	0%	3%	0%	3%	0%

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

Anexo 19: Porcentaje de horas consecutivas sobre umbrales térmicos de cada mes en los puntos de medición de San Felipe

Mes	Indicadores	Esc. Agrícola	Sn. Felipe Centro	Villa Yevide	Encon	Yungay Norte	De la Troya
Diciembre	U-hs >=30°C	16,3%	21,7%	27,8%	20,4%	22,8%	24,3%
	U-hs >=32,5°C	5,1%	10,7%	18,4%	10,2%	13,3%	15,5%
	U-hs >=35°C	0,4%	1,8%	8,6%	3,2%	4,3%	6,6%
Enero	U-hs >=30°C	15,1%	19,2%	25,3%	20,2%	23,5%	24,1%
	U-hs >=32,5°C	2,6%	4,2%	16,1%	9,7%	12,0%	14,2%
	U-hs >=35°C	0,0%	0,0%	6,7%	0,7%	2,2%	3,6%
Febrero	U-hs >=30°C	13,4%	17,4%	17,3%	17,6%	19,5%	20,4%
	U-hs >=32,5°C	3,6%	4,6%	7,6%	6,4%	7,7%	10,0%
	U-hs >=35°C	0,0%	0,3%	2,4%	1,2%	1,6%	2,2%
Marzo	U-hs >=30°C	11,2%	13,6%	15,2%	12,4%	10,3%	15,1%
	U-hs >=32,5°C	2,4%	2,3%	6,0%	3,5%	3,1%	4,8%
	U-hs >=35°C	0,0%	0,0%	1,5%	0,0%	0,0%	0,8%

Anexo 20: Porcentaje de horas consecutivas sobre umbrales térmicos de cada mes en los puntos de medición de San Felipe

Mes	Indicadores	SINCA	Húmeres	Juan Pablo II	España	Los Andes Centro	Regimiento
Diciembre	U-hs >=30°C	20,1%	26,7%	25,0%	23,0%	22,2%	21,6%
	U-hs >=32,5°C	8,3%	14,7%	16,7%	13,2%	11,3%	9,8%
	U-hs >=35°C	1,3%	3,1%	6,2%	3,6%	2,8%	1,4%
Enero	U-hs >=30°C	17,7%	27,2%	23,4%	21,5%	21,5%	20,7%
	U-hs >=32,5°C	3,1%	12,9%	13,4%	9,1%	9,7%	6,9%
	U-hs >=35°C	0,0%	0,7%	2,4%	0,9%	0,5%	0,9%
Febrero	U-hs >=30°C	13,5%	11,3%	19,8%	16,7%	16,8%	16,2%
	U-hs >=32,5°C	4,2%	1,0%	8,8%	6,5%	7,4%	5,1%
	U-hs >=35°C	0,0%	0,0%	2,1%	0,4%	0,7%	1,0%
Marzo	U-hs >=30°C	9,8%	4,7%	12,9%	11,2%	10,8%	10,9%
	U-hs >=32,5°C	2,2%	0,0%	4,8%	3,0%	3,1%	2,2%
	U-hs >=35°C	0,0%	0,0%	0,3%	0,1%	0,0%	0,0%

Anexo 21: Valores medios horarios de humedad relativa del aire, correspondientes al periodo de verano 2021-22 en la ciudad de San Felipe

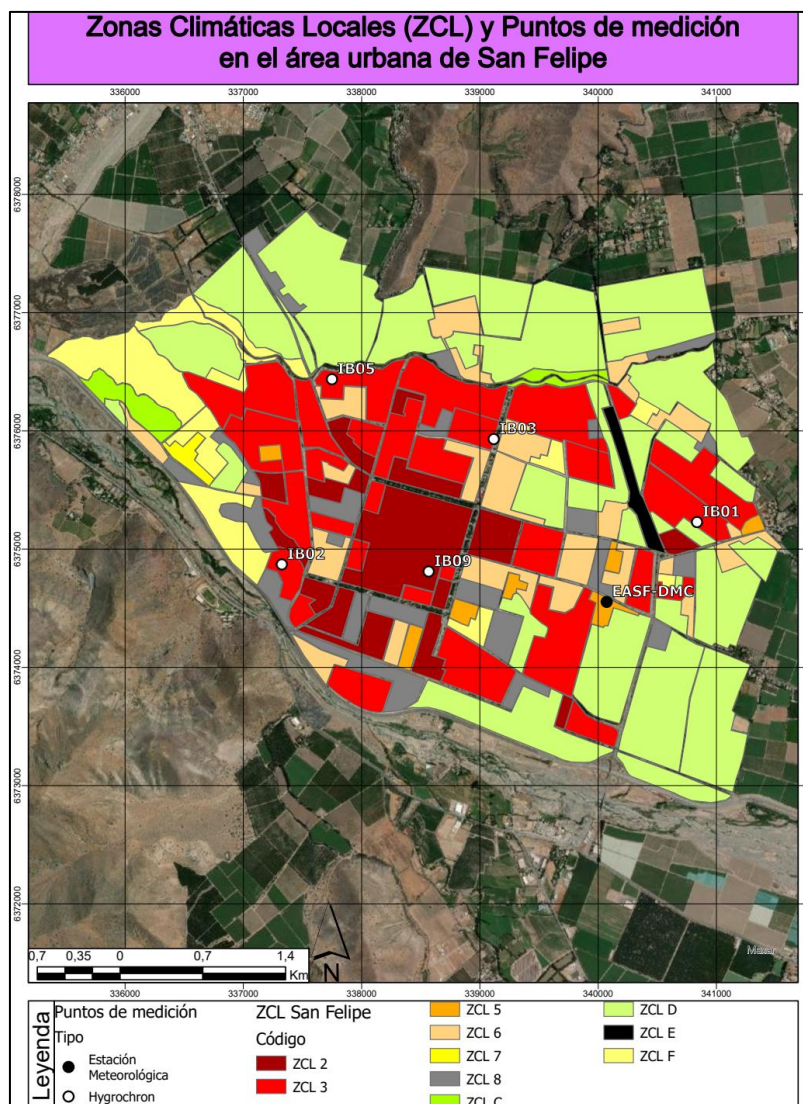
Puntos	Promedio verano 2021-22 en San Felipe																							
	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
Esc. Agrícola	62,6	67,4	71,8	75,9	79,3	81,9	83,9	85,2	78,9	65,9	55,1	46,7	39,5	33,1	28,9	26,9	26,3	26,7	28,9	31,9	38,5	45,6	51,5	56,8
Centro	58,8	62,7	65,9	68,8	71,3	73,4	75,2	76,4	75,7	64,3	52,9	42,9	35,7	30,6	26,8	24,0	23,0	23,6	25,4	28,8	34,9	41,7	47,8	53,7
V. Yevide	53,2	57,9	61,2	64,4	67,5	69,8	71,5	73,0	73,2	70,0	62,4	52,7	42,3	34,1	27,8	23,0	21,6	22,3	23,2	24,4	29,4	36,3	43,4	47,9
Encon	62,5	66,6	69,9	72,6	74,8	76,6	78,1	79,2	77,9	70,3	59,0	48,3	39,6	33,5	28,8	25,7	24,9	25,5	27,6	32,6	38,5	44,9	51,1	57,2
Yungay Norte	56,5	59,7	62,7	65,5	67,8	69,5	71,2	72,3	71,0	58,4	53,0	44,5	36,6	30,4	26,0	23,3	22,5	23,6	26,7	30,7	35,7	41,4	46,6	52,4
La Troya	57,9	62,2	65,9	69,3	71,8	74,2	76,2	77,8	77,8	72,5	60,6	48,4	38,9	31,4	26,4	23,6	22,8	23,3	26,0	29,3	36,6	43,0	48,3	53,3

Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile

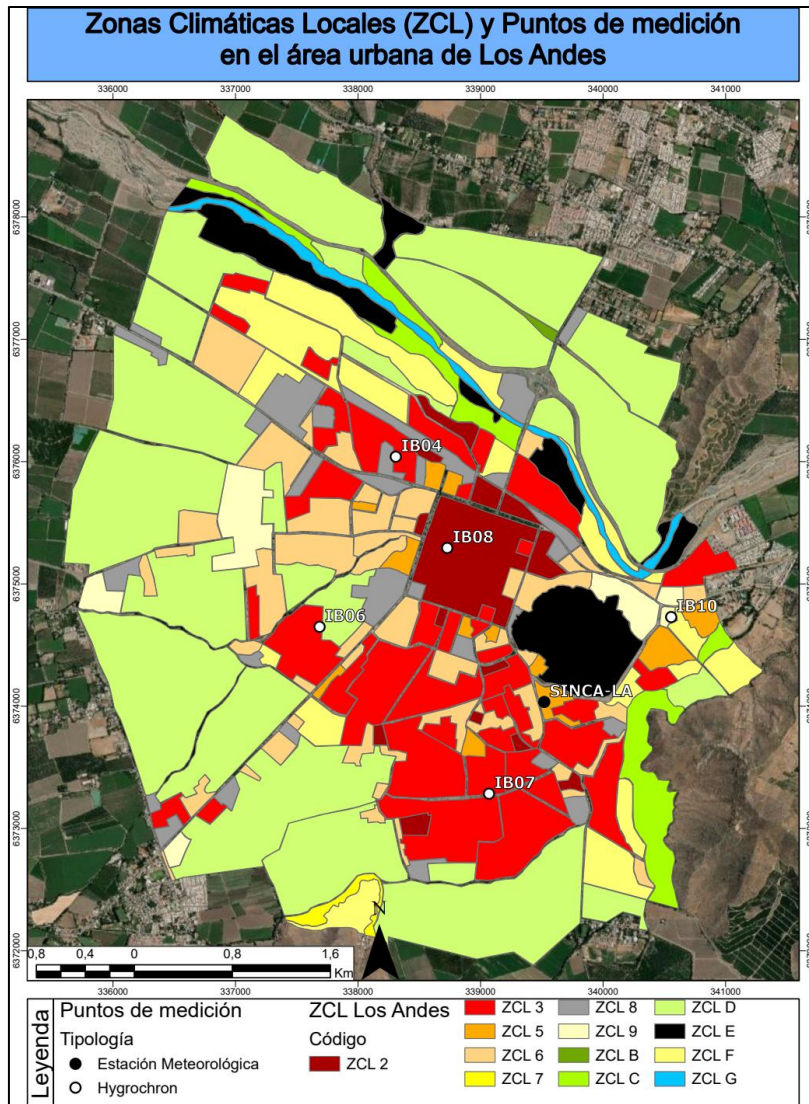
Anexo 22: Valores medios horarios de humedad relativa del aire, correspondientes al periodo de verano 2021-22 en la ciudad de Los Andes

Puntos	Promedio verano 2021-22 en Los Andes																							
	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
SINCA	48,3	51,9	54,6	57,0	59,0	60,5	62,1	62,6	59,0	50,1	40,8	34,2	29,1	24,6	20,9	18,6	17,6	18,0	20,1	23,6	31,1	37,9	41,5	45,1
Húmeres	48,8	52,0	55,0	57,5	59,8	61,5	63,1	64,4	62,3	54,2	46,6	43,0	36,1	31,7	27,9	24,5	22,5	22,4	23,4	26,1	29,6	36,8	41,5	45,6
Juan Pablo II	56,8	62,0	66,0	69,7	72,9	75,5	77,7	79,6	80,1	73,5	61,9	52,2	44,4	37,2	30,5	25,4	22,4	21,8	22,8	25,5	30,3	38,9	44,9	50,9
España	51,4	55,2	58,1	61,0	63,6	65,5	66,9	69,6	68,8	61,9	52,4	44,3	36,8	31,0	25,5	22,5	20,7	20,7	22,4	25,7	31,3	38,4	43,1	47,2
Municipalidad	47,5	50,6	52,9	54,9	56,4	57,7	61,4	60,1	58,9	55,4	51,2	45,9	39,6	32,4	26,5	22,6	20,3	19,7	20,5	23,7	29,0	36,9	41,1	44,3
Regimiento	57,1	61,1	64,9	68,0	70,8	72,9	74,8	76,2	72,9	61,2	46,7	38,9	34,6	30,2	26,0	23,0	21,3	21,2	22,8	26,0	32,6	42,1	48,1	52,6

Anexo 23: Mapa de las Zonas climáticas locales de las ciudades de San Felipe (1) y Los Andes (2)



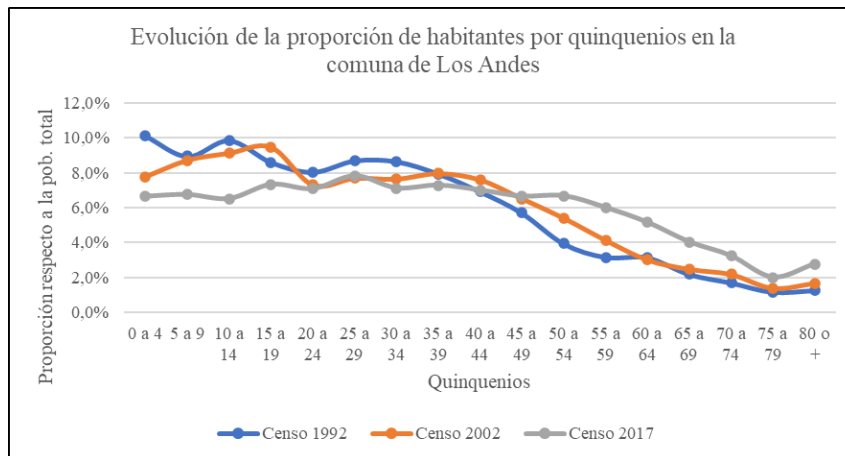
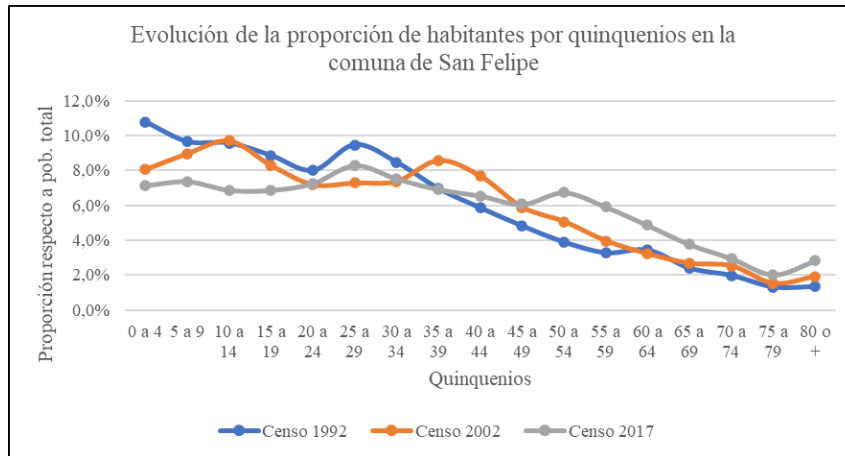
Análisis del comportamiento termal intraurbano y confort térmico ambiental del cuatrimestre de verano 2021-2022 en las ciudades de San Felipe y Los Andes, Región de Valparaíso, Chile



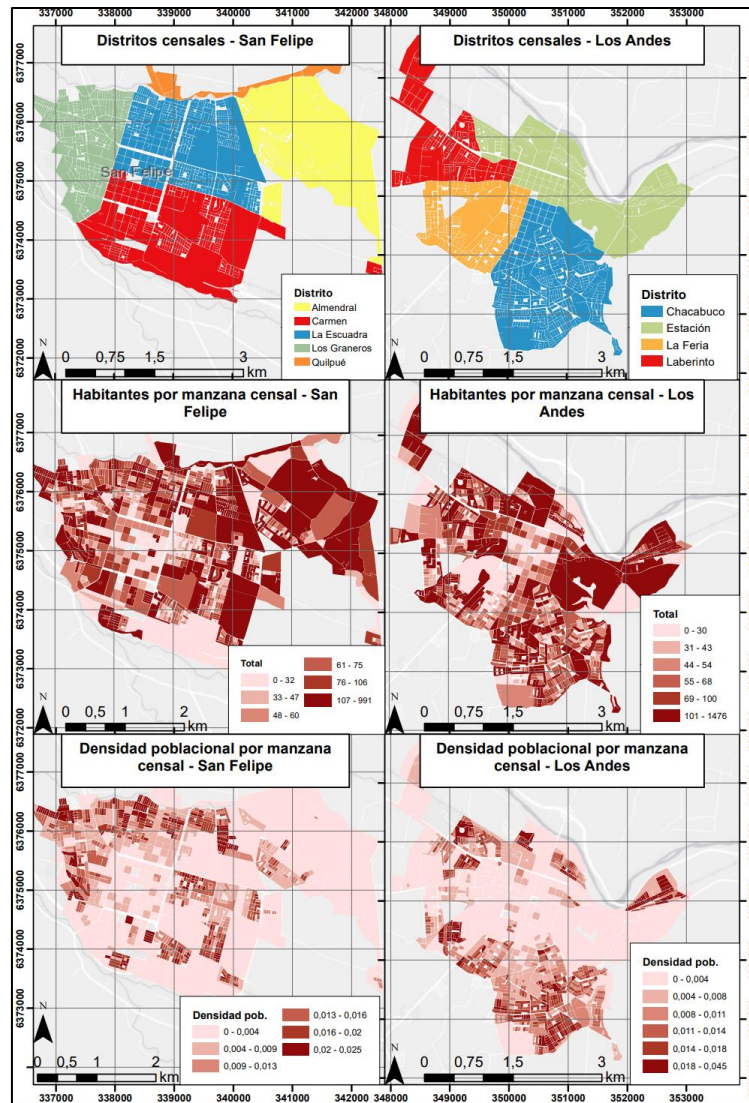
Anexo 24: Variaciones del número de habitantes por quinquenios respecto a los periodos censales de los años 1992, 2002 y 2017.

Quinquenios	San Felipe		Los Andes	
	1992-2002	2002-2017	1992-2002	2002-2017
0 a 4 años	-2,7%	-0,9%	-2,3%	-1,1%
5 a 9 años	-0,7%	-1,6%	-0,2%	-2,0%
10 a 14 años	0,1%	-2,8%	-0,7%	-2,6%
15 a 19 años	-0,5%	-1,4%	0,9%	-2,1%
20 a 24 años	-0,8%	0,1%	-0,7%	-0,2%
25 a 29 años	-2,2%	1,0%	-1,0%	0,1%
30 a 34 años	-1,1%	0,1%	-1,0%	-0,5%
35 a 39 años	1,6%	-1,7%	0,0%	-0,7%
40 a 44 años	1,8%	-1,1%	0,7%	-0,6%
45 a 49 años	1,1%	0,2%	0,8%	0,1%
50 a 54 años	1,2%	1,7%	1,5%	1,3%
55 a 59 años	0,7%	1,9%	1,0%	1,9%
60 a 64 años	-0,2%	1,6%	-0,1%	2,1%
65 a 69 años	0,3%	1,1%	0,3%	1,6%
70 a 74 años	0,6%	0,4%	0,5%	1,1%
75 a 79 años	0,2%	0,5%	0,2%	0,6%
80 y más	0,6%	0,9%	0,4%	1,1%

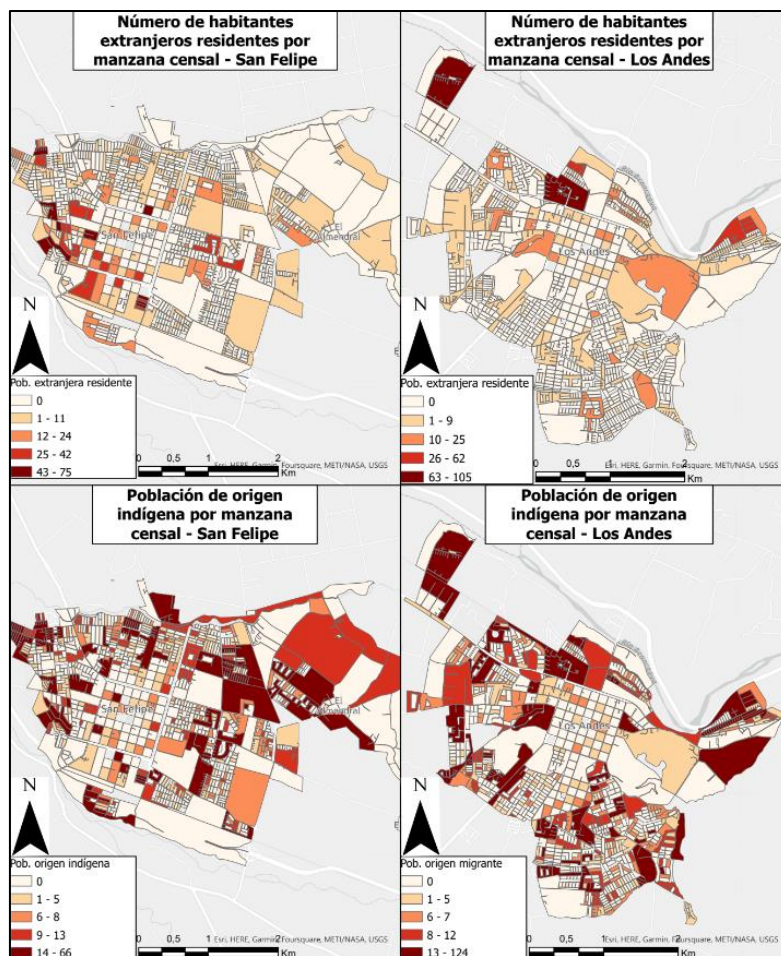
Anexo 25: Evolución de la proporción habitantes por quinquenios respecto a los periodos intercensales de las comunas de San Felipe (1) y Los Andes (2)



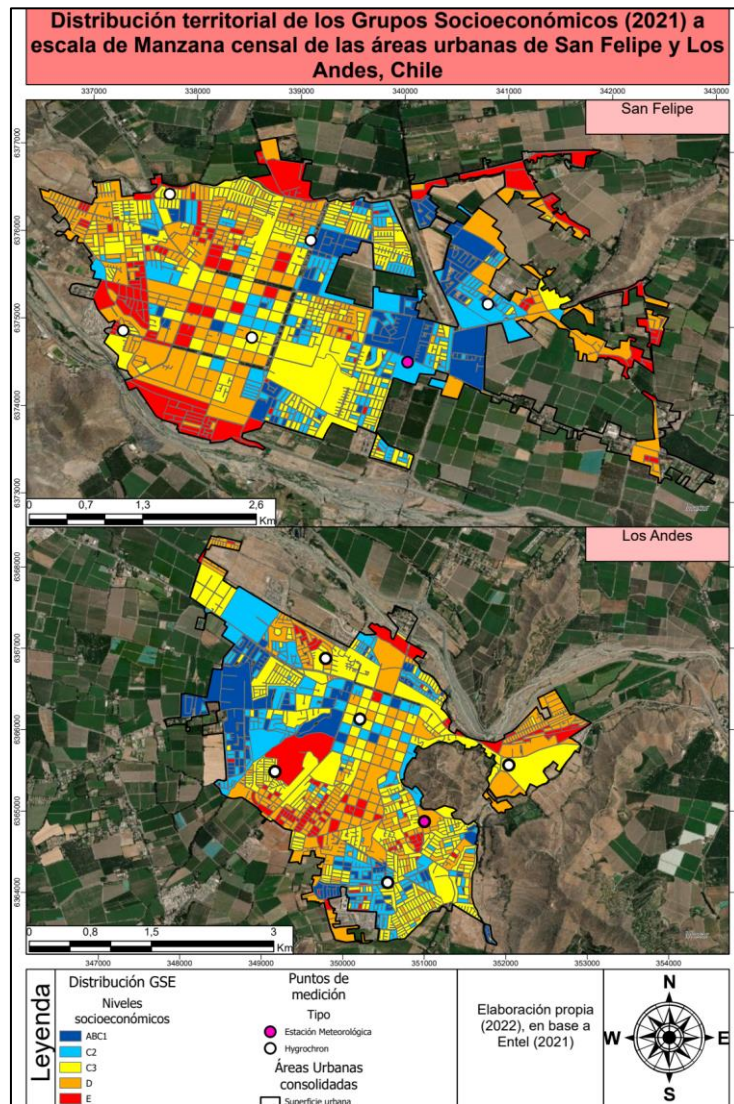
Anexo 26: Características demográficas de las ciudades de estudio



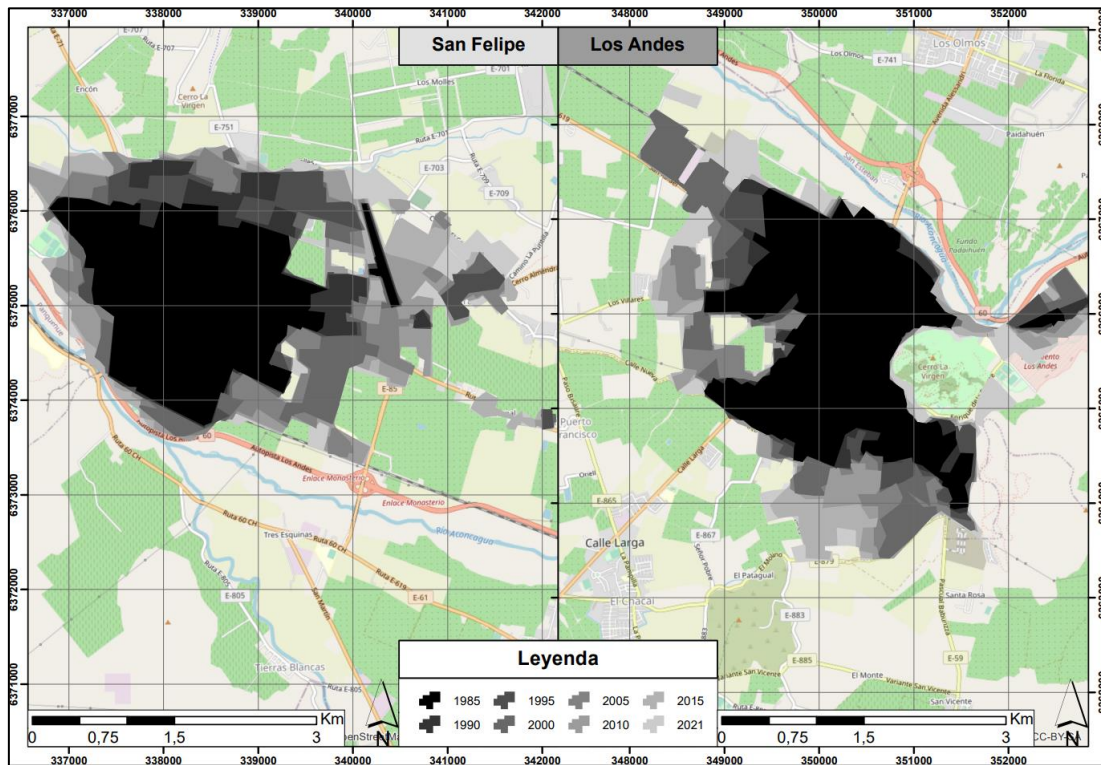
Anexo 27: Población extranjera residente y población indígena por manzana censal



Anexo 28: Grupos socioeconómicos (GSE) por manzana censal de las ciudades de San Felipe y Los Andes, estimado al año 2021



Anexo 29: Estimación del crecimiento de la mancha urbana de las ciudades de San Felipe y Los Andes, entre los años 1985 y 2021



Anexo 30: Índice NDBI de las ciudades de San Felipe y Los Andes, extraído de imágenes del producto Sentinel-2 del día 3 de marzo de 2022

