



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

**“TEMPERATURAS ATMOSFÉRICAS EN EL ÁREA URBANA DE LA CIUDAD DE
VALPARAÍSO: APROXIMACIONES A SU COMPORTAMIENTO, DISTRIBUCIÓN Y
FACTORES EXPLICATIVOS”.**

XIMENA PATRICIA ANDRADE CEA

Profesor Guía: Hugo Romero Aravena.

SANTIAGO – CHILE
2013

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a todas aquellas personas que anhelaron que este trabajo llegara a término tanto como yo, compartiendo afecto, comentarios, tiempo y comprensión.

A mis padres, hermanos, Sebastián y Viviana. También, agradecer la presencia y ayuda de aquellas personas, que en algún momento me orientaron y compartieron desinteresada y amablemente sus conocimientos. Gracias Pablo, Claudio, Dustyn y Pamela. A los buenos amigos, de quienes recibí mucha alegría, reconocimiento y ánimo en momentos difíciles y no tan difíciles. También mencionar y agradecer a mi profesor guía, Doctor Hugo Romero Aravena, especialmente por confiar en las capacidades y valorar los esfuerzos. Gracias por la empatía, observaciones y comentarios.

Finalmente quisiera mencionar que este logro y cada uno de los esfuerzos, van dedicados a mi familia, especialmente a mi mariposita sonriente, Víctor y María, quienes contribuyeron a que viviera esta experiencia sintiendo incondicional apoyo, reconocimiento y amor, en tiempos de grandes cambios y mucho crecimiento.

A todos ustedes quisiera expresarles mi más sentido cariño, agradecimiento y alegría.

RESUMEN

Este trabajo se articula dentro de la temática del clima urbano, específicamente, de la variabilidad del campo térmico a escala del dosel en la ciudad de Valparaíso, durante el verano del año 2011, utilizando conceptos y teorías propias de la ecología urbana. La multicausalidad del comportamiento de las temperaturas y su distribución espacial, se analizan considerando componentes naturales del paisaje, así como aquellos que guardan relación con el grado de perturbación urbana, en diferentes áreas, al interior de la ciudad. Se hace uso de técnicas asociadas al análisis espacial, estadística inferencial y en menor medida a la teledetección. Los resultados muestran que, a pesar de poseer ventajas comparativas respecto a otros centros urbanos del país, asociadas al control de los servicios de regulación térmica, Valparaíso comparte rasgos propios del clima típico de las ciudades. La heterogeneidad del comportamiento térmico en un mismo horario, a la escala señalada es alta, el calor se concentra en el centro o Plan de la ciudad, y hay una estrecha relación entre su variabilidad, con la presencia y estado de la vegetación, así como, con la proporción de superficies construidas, variables que se sugiere, sean consideradas como componentes estratégicos, de la gestión y planificación ambiental de la ciudad.

ABSTRACT

This paper lays down into the matter of urban climate, especially, in the variability of the thermal field at canopy layer in the city of Valparaiso, during the summer of 2011. Concepts and an unique theory of urban ecology have been used. Multi casualty in the behavior of temperatures and its spatial distribution, are analyzed considering natural components of the landscape, as well as those related with the degree of urban impact in different areas inside the city. Techniques associated with spatial analysis, inferential statistics and, in a smaller degree, remote sensing is being used. Results show that, in spite of having comparative advantages compared with other urban centers in the country, Valparaiso shares features of the typical climate in cities. Temperature variations, in the mentioned scale, are broad. Heat is concentrated in the center of the city, and there is a close relationship between its variability, the presence and condition of vegetation, as well as with the ratio of building surfaces, variables that are suggested that should be considered as strategic components, of the urban management of the city.

INDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I: PRESENTACIÓN.	9
1.1 Introducción.	10
1.2 Planteamiento del problema.	12
1.3 Área de estudio.	15
1.4 Objetivo general.	20
1.5 Objetivos específicos.	20
1.6 Hipótesis.	21
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	22
2.1 Ciudad, ecosistema urbano, urbanización y sustentabilidad.	23
2.2 Las contradicciones del Estado.	25
2.3 La ecología del paisaje aplicada al estudio de las problemáticas ambientales urbanas.	28
2.4 Clima y clima urbano.	32
2.5 Escalas de análisis, metodologías y sistemas de clasificación para el estudio de la variabilidad climática urbana.	38
2.6 Antecedentes del clima regional y urbano de Valparaíso.	45
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.	48
3.1 Análisis del comportamiento y distribución espacial de las temperaturas atmosféricas, en el área urbana de Valparaíso.	49
3.1.1 Recolección de datos de temperatura atmosférica y humedad relativa	49
3.1.2 Control de calidad y homogenización de los datos.	49
3.1.3 Selección del día de interpolación.	50
3.1.4 Análisis de las condiciones sinópticas y meteorológicas prevalecientes	50
3.1.5 Representación espacial de las temperaturas atmosféricas.	51
3.2 Análisis de la distribución espacial de variables geográficas y urbanas, asociadas a la variabilidad de las temperaturas atmosféricas.	52
3.2.1 Distancia al mar.	52
3.2.2 Densidad de población.	53
3.2.3 Elevación topográfica	53
3.2.4 Exposición de laderas.	53
3.2.5 Presencia y estado de la vegetación.	53
3.2.6 Distancia a formaciones de vegetación densa.	53
3.2.7 Zonas Climáticas Termales.	54
3.3 Análisis explicativo del comportamiento y distribución espacial de las temperaturas atmosféricas.	54
3.3.1 Análisis de la correlación entre temperaturas atmosféricas y variables geográficas y urbanas.	55
3.3.2 Modelos explicativos del comportamiento y distribución espacial de las temperaturas atmosféricas.	56
3.3.3 Análisis de la capacidad explicativa de los modelos.	57

3.3.4 Análisis de la capacidad predictiva de los modelos.	58
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	64
4.1 Comportamiento y distribución espacial de las temperaturas atmosféricas.	65
4.1.1 Comportamiento y distribución de las temperaturas a las 9:00 hrs.	68
4.1.2 Comportamiento y distribución de las temperaturas a las 12:00 hrs.	70
4.1.3 Comportamiento y distribución de las temperaturas a las 15:00 hrs.	71
4.1.4 Comportamiento y distribución de las temperaturas a las 18:00 hrs.	73
4.1.5 Comportamiento y distribución de las temperaturas a las 21:00 hrs.	74
4.2 Distribución espacial de las variables geográficas y urbanas.	76
4.2.1 Distancia al mar.	76
4.2.2 Densidad de población por hectáreas, según manzana censal.	78
4.2.3 Elevación topográfica.	80
4.2.4 Exposición de laderas.	81
4.2.5 Índice de diferencia vegetal normalizado (NDVI).	82
4.2.6 Distancia a formaciones de vegetación densa.	84
4.2.7 Zonas Climáticas Termales.	86
4.3 Modelos explicativos del comportamiento y distribución espacial de las temperaturas atmosféricas.	92
4.3.1 Capacidad explicativa de los modelos generados.	96
4.3.2 Capacidad predictiva de los modelos de regresión múltiple.	97
CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.	100
5.1 Discusión.	101
5.2 Discusión metodológica.	105
5.3 Conclusiones y recomendaciones.	109
BIBLIOGRAFÍA	112
ANEXOS.	123

INDICE DE FIGURAS

Figura Nº 1: Área urbana de Valparaíso.	15
Figura Nº 2: Población de Valparaíso según zona de residencia. 1960 – 2002.	16
Figura Nº 3: Climograma de Gausson estación Faro Punta Ángeles, Valparaíso. 33º 01` S; 71º 38` W. - Normal climatológica 1961 - 1990.	18
Figura Nº 4: Representación gráfica de las capas atmosféricas presentes sobre áreas urbanas.	40
Figura Nº 5: Principios de diferenciación utilizados para la clasificación de las Zonas Climáticas Termiales.	44
Figura Nº 6: Carta de presiones atmosféricas, a los 500 Hpa e Imagen infrarrojo a las 21:00 UTC, del 1 de Febrero del 2011.	51
Figura Nº 7: Interpretación numérica y gráfica, de la exposición de laderas.	53
Figura Nº 8: Gráficos para contrastar normalidad, linealidad y homocedasticidad.	63
Figura Nº 9: Comportamiento de la temperatura mínima, media, máxima y amplitud térmica promedio, desde el 1 de Enero al 21 de marzo del 2011.	65
Figura Nº 10: Oscilación térmica registrada durante los días, 31 de Enero, 1 y 2 de Febrero, del año 2011.	66
Figura Nº 11: Distribución de temperaturas atmosféricas a las 9:00hrs.	69
Figura Nº 12: Distribución de temperaturas atmosféricas a las 12:00hrs.	71
Figura Nº 13: Distribución de temperaturas atmosféricas a las 15:00hrs.	72
Figura Nº 14: Distribución de temperaturas atmosféricas a las 18:00hrs.	74
Figura Nº 15: Distribución de temperaturas atmosféricas a las 21:00hrs.	76
Figura Nº 16: Distancia al mar.	78
Figura Nº 17: Densidad de población por hectárea, según manzana censal, en el área urbana de Valparaíso.	79
Figura Nº 18: Elevación topográfica en el área urbana de Valparaíso.	81
Figura Nº 19: Exposición de las laderas en el área urbana de Valparaíso.	82
Figura Nº 20: Índice de diferencia vegetal normalizada (NDVI).	84
Figura Nº 21: Distancia a formaciones de vegetación densa en el área urbana de Valparaíso	86
Figura Nº 22: Distribución espacial de Zonas Climáticas Termiales en el área urbana de Valparaíso.	90

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Proyección de cambios en usos y coberturas de suelo, según escenarios y comunas. Valparaíso, periodo 2007 – 2025.	13
Tabla N° 2: Temperatura media, mínima y máxima promedio (°C), de los meses de verano, obtenidas de la estación Faro Punta Ángeles, considerando la normal climatológica 1961 – 1990.	17
Tabla N° 3: Definición de la intensidad de una isla de calor según Fernández – García, 1995.	37
Tabla N° 4 : Interpretación de fuerza y sentido de las correlaciones entre variables dadas por los coeficientes r de Pearson y Rho de Spearman.	56
Tabla N° 5: Conjunto de casos posibles, al realizar la prueba F y los contrastes por cada variable independiente (prueba t), en una regresión múltiple.	60
Tabla N° 6 : Resumen de las condiciones meteorológicas a escala sinóptica observadas en Valparaíso, durante los días 31 de enero, 1 y 2 de febrero.	67
Tabla N° 7 : Anomalías en las temperatura superficial del mar, en el Pacífico Ecuatorial Central, cada tres trimestres móviles consecutivos.	67
Tabla N° 8: Superficie según Zona Climática Termal.	88
Tabla N° 9: Correlaciones entre temperatura (°C) y variables explicativas, según horas del día	94
Tabla N° 10: Ecuaciones de regresión múltiple que explican el comportamiento y distribución de las temperaturas, según horario.	95
Tabla N° 11: Coeficientes que dan cuenta de la varianza explicada de la temperatura atmosférica, en las regresiones obtenidas para cada horario.	96
Tabla N° 12 : Resultados del análisis de la capacidad explicativa de los modelos de regresión, considerando la prueba t; F y la medida de error típico.	97
Tabla N° 13: Síntesis de los resultados obtenidos, del análisis de la validez estadística de los supuestos de regresión múltiple, por modelo.	98

CAPÍTULO I: PRESENTACIÓN.

1.1 Introducción

En el proceso de urbanización en Chile, se evidencian ciertas causas y tendencias asociadas al creciente y sostenido aumento de la población que ha migrado desde zonas rurales a centros urbanos, desde la década de 1940 en adelante, (INE, 2008) y a las modalidades de regulación dadas por los instrumentos de planificación, que han respondido muy ceñidamente a pautas económicas globales y locales propias del proceso de globalización (De Mattos, 2002). La expansión de la superficie construida, ha tenido fuertes impactos en el territorio y ha incrementado los niveles de recursos que son necesarios para dar sustento a las demandas propias de los habitantes urbanos. En este contexto, las interacciones entre los entornos económicos, sociales y ambientales que configuran la ciudad, frecuentemente plantean problemas de compatibilidad entre los principios de eficiencia, relativos al crecimiento económico, equidad social y ambiental (Ministerio del Medio Ambiente Español, 2007). En razón de ello, y al volumen de conflictos no previstos que ha traído el predominio de los procesos de producción y acumulación, como sostenedores del crecimiento económico y configuradores del espacio, es que actualmente las temáticas en torno a la equidad social y ambiental, revisten especial atención para poder dar solución a mediano y largo plazo, a las problemáticas sociales y ambientales que recaen sobre las ciudades y sus zonas de influencia.

La climatología urbana, es una de las disciplinas que han abordado parte de dicha problemática, intentando comprender los vínculos entre el clima y los diferentes componentes naturales y artificiales que configuran el medio ambiente urbano. Actualmente, existe una amplia gama de teorías y reconocimiento de patrones, asociados a la variabilidad climática que son comunes y propios de las ciudades. Cuestiones como la escala de análisis y el reconocimiento de capas de influencia, son consideradas determinantes en los vínculos que se establecen y resultados que se discuten, y desde la publicación del primer Informe sobre Cambio Climático en 1990, la mitigación de impactos y adaptación a cambios, se ha considerado un objetivo primordial a incorporar en materia de planificación urbana.

Gran parte de las investigaciones que al respecto se realizan, se enmarcan dentro del paradigma de la sustentabilidad, y reconocen que el trabajo orientado a la planificación y gestión sustentable de áreas urbanas, requiere de enfoques que ayuden a no desagregar la complejidad de sus problemáticas ambientales. En este escenario, la ecología urbana, aparece como una opción cada vez más atractiva para abordar

teórica y metodológicamente, la relación entre componentes del paisaje y los efectos que derivan de dichas relaciones, sobre el funcionamiento del ecosistema urbano y la calidad de vida de las personas.

La presente memoria, forma parte de la investigación realizada por los proyectos Fondecyt N° 100657, titulado: “Evidencias del cambio climático en centros urbanos en Chile: Implicancias sobre los riesgos naturales y la capacidad adaptativa” y Fondecyt N° 1130305, titulado: “Estudio y modelación del clima urbano a escala local, como base para la proposición de lineamientos de adaptación frente al cambio climático, en una red de ciudades chilenas”, y ha tenido como objetivo, disminuir los niveles de incertidumbre respecto al comportamiento y distribución de la temperatura atmosférica en el área urbana de Valparaíso, en un contexto de aumento persistente de población y de superficies urbanizadas. Se aborda la relación entre temperaturas atmosféricas y componentes naturales y artificiales del paisaje urbano, en un día cálido de verano, con el propósito de identificar procesos, espacial y temporalmente relacionados. Comprender las relaciones existentes entre los componentes que configuran el espacio urbano, y su relación con la variabilidad térmica y servicios asociados a la regulación climática, implica poder identificar de manera más precisa, lineamientos a incorporar, en las herramientas de gestión y planificación de la ciudad.

1.2 Planteamiento del problema

La migración de población en Chile, desde zonas rurales a urbanas, desde la década de 1940 (INE, 2008), ha significado la transformación de una importante cantidad de terrenos, por medio de los instrumentos de planificación, pensados para regular la asignación de suelos. Las proyecciones entorno al aumento de la población total del país, según áreas urbanas y rurales, señalan que actualmente, existen alrededor de 14.852.045 personas habitando centros urbanos, de un total de 17.094.270 habitantes, mientras que para el año 2020, las tendencias calculadas, anticipan que 16.033.892 habitantes serán urbanos, del total de 18.412.316 personas estimadas para dicho año. (INE, 2004).

En el caso de la región de Valparaíso, según el Censo de Población y Vivienda del año 2002, 1.409.902 personas, vivían en ciudades (91,6%), y sólo 129.950 (8,4%), residían en áreas rurales. Para el caso de la comuna de Valparaíso, las cifras son aún más drásticas, pues el 99,7% habitaba en zonas urbanas (275.141 hab.), mientras que sólo el 0,3% lo hacía fuera de ellas (841 hab.).

Lo anterior, da cuenta de un crecimiento urbano concentrado en espacios metropolitanos, caracterizado por un creciente, rápido y continuo proceso de agregación de nuevas áreas urbanas, que reemplazan coberturas naturales y semi naturales. Al respecto, Sandoval (2009), señala que el proceso de expansión del Gran Valparaíso, ha sido rápido y constante, y que la superficie urbanizada de la conurbación, se ha duplicado en sólo 18 años (desde 1989 al 2007). Este crecimiento, no se justificaría considerando las tasas de crecimiento poblacional observadas, ni sobre la base de las proyecciones demográficas realizadas, ya que respondería más bien, a un cambio en las densidades, cada vez menores, y a las intenciones de la población de residir en sectores periféricos. El Plan Regulador Metropolitano de Valparaíso (PREMVAL), en tanto, profundizaría este crecimiento, al plantear la extensión de la superficie urbana para toda la conurbación, en 23.748 hectáreas, en un horizonte de tiempo de 30 años.

En el caso de la ciudad de Valparaíso, su crecimiento se ha dado principalmente por la acreción o agregación de nuevas áreas a la superficie urbana consolidada, en donde las coberturas más afectadas, han sido aquellas que albergan vegetación densa y dispersa. Las proyecciones hechas por Sandoval (2009), para el año 2025, representando por un lado la continuidad de la tendencia histórica observada del

crecimiento de la ciudad, y por otro, el crecimiento modelado considerando la implementación del PREMVAL, señalan que de las 5.920 has. contempladas para ser adheridas al área urbana actual de la ciudad, aquellas con vegetación densa, serán las más afectadas, principalmente por urbanización de baja y alta densidad (Tabla N°1). Cabe añadir, que el crecimiento de Valparaíso, se proyecta principalmente hacia la periferia sur, sector que forma parte de las casi 3.000 has. de vegetación densa de la conurbación, que se han transformado en coberturas de vegetación dispersa desde 1989 al 2007.

Tabla N° 1: Proyección de cambios en usos y coberturas de suelo, según escenarios y comunas. Valparaíso, periodo 2007 – 2025.

Comuna	Vegetación dispersa a urbanización de baja densidad		Espacios abiertos a urbanización de baja densidad		Vegetación densa a urbanización de baja densidad	
	Tendencia observada del crecimiento	Tendencia planificada del crecimiento	Tendencia observada del crecimiento	Tendencia planificada del crecimiento	Tendencia observada del crecimiento	Tendencia planificada del crecimiento
Concón	3.7	7.5	25.3	23.3	10.8	5.4
Quilpué	23.2	12.4	2.0	1.1	24.8	13.1
Valparaíso	42.2	27.4	21.5	27.6	41.2	45.9
V. Alemana	17.8	10.7	32.4	18.6	3.8	1.9
V. del Mar	13.2	22.0	18.8	29.4	19.4	33.8
Comuna	Vegetación dispersa a urbanización de alta densidad		Espacios abiertos a urbanización de alta densidad		Vegetación densa a urbanización de alta densidad	
	Tendencia observada del crecimiento	Tendencia planificada del crecimiento	Tendencia observada del crecimiento	Tendencia planificada del crecimiento	Tendencia observada del crecimiento	Tendencia planificada del crecimiento
Concón	1.7	12.3	5.3	26.5	5.0	12.4
Quilpué	22.8	22.1	11.5	13.7	9.7	5.9
Valparaíso	2.6	2.9	6.2	15.1	37.8	52.8
V. Alemana	18.0	20.2	16.0	13.2	1.3	3.3
V. del Mar	54.9	42.6	61.0	31.6	46.2	25.6

Fuente: Sandoval, 2009.

La expansión urbana generalizada, constituye un problema ambiental cuando se desconocen los mecanismos bajo los cuales, se relacionan, funcionan y autoregulan los componentes naturales del paisaje, que serán alterados por dicho proceso, principalmente, porque se perturba y limita la capacidad de los mismos para otorgar servicios ambientales, condicionando la calidad de vida de las personas que se

benefician de ellos, y porque los esfuerzos abocados a conservarlos e incrementarlos, pueden llegar a ser ineficientes e incluso totalmente ineficaces.

Los servicios ecosistémicos que son brindados a los paisajes urbanos, incluyen la provisión de materiales (como agua, energía y materiales de construcción), la regulación de los componentes naturales del paisaje, (como el ciclo hidrológico y las condiciones climáticas) y servicios culturales (como belleza estética y tranquilidad).

Entre los efectos de la urbanización sobre el clima, destacan la formación de islas de calor, sequedad, frío y humedad, las cuales, dependiendo del contexto en el cual se configuran, pueden llegar a ser un factor de riesgo, que facilite la ocurrencia de enfermedades respiratorias, situaciones de disconfort y estrés térmico entre otros, lo que incrementa a su vez, el consumo de agua, energía, gastos en salud y dotación de servicios asociados.

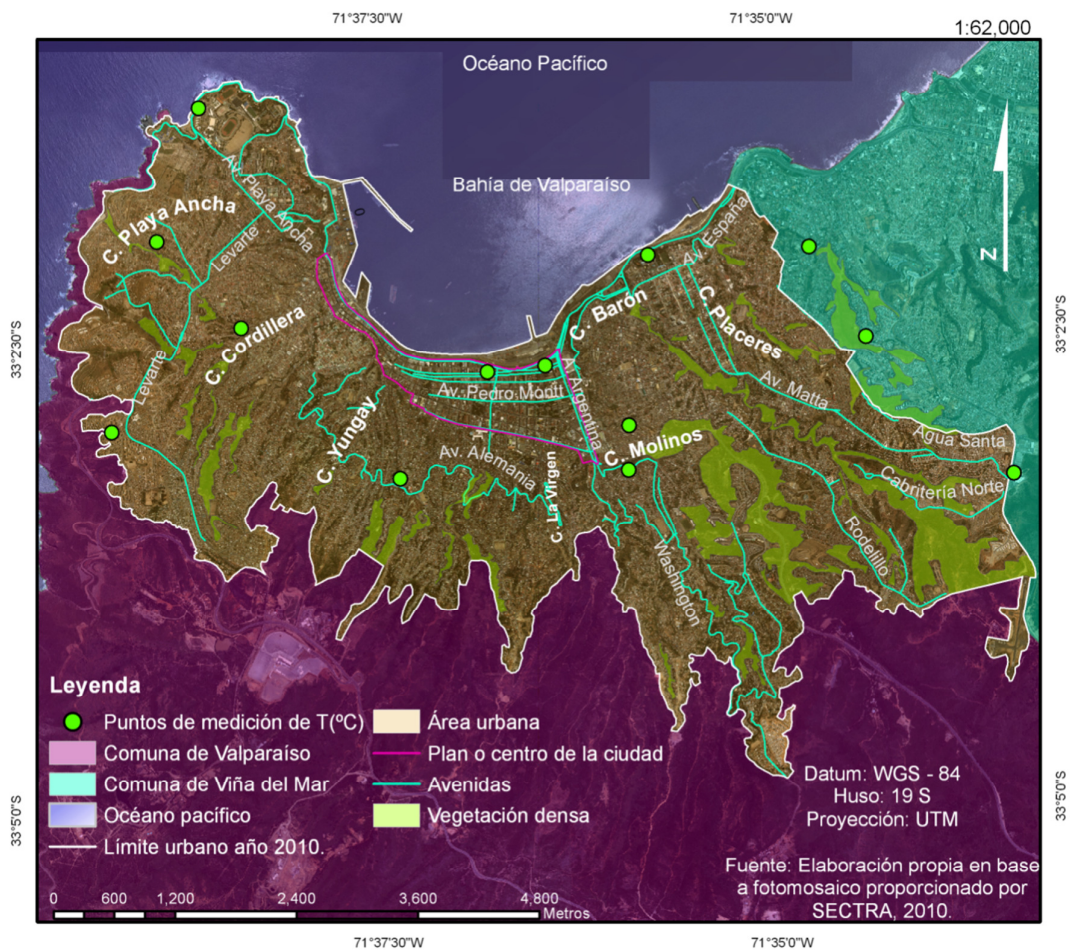
Al incremento de población urbana, a la modificación de usos y coberturas del suelo y sus desconocidos efectos sobre el clima local, se suman los pronósticos entregados en el contexto de cambio climático. La rapidez y magnitud con la que se anticipa que ocurrirán los cambios en el sistema Atmósfera – Tierra, cuestionan la capacidad adaptativa de la población urbana y ponen en relieve, la importancia de generar información que dé cuenta, de relaciones espacial y temporalmente vinculadas entre los componentes del paisaje urbano y la variabilidad de los parámetros meteorológicos que las definen. De acuerdo a lo que señala el último Informe sobre Cambio Climático (2007), la frecuencia de días calurosos aumentará, en el caso de Chile, la zona central vivirá un proceso de desertificación, y en general, la población vulnerable será la más afectada, sobre todo si se localiza en zonas costeras. Considerando aquello, Valparaíso se vuelve un área de estudio especialmente relevante. Aunque no forma parte de las zonas del país con clima definido como semiárido, constituye un área de transición climática, alberga población mayoritariamente de los grupos socioeconómicos D y E (Romero *et al*, 2008) y su orografía, condición de ciudad costera, y urbanización muchas veces precaria, incrementan la vulnerabilidad de las personas, así como la ocurrencia de desastres naturales.

En virtud de lo anterior, se justifica el objetivo central de esta investigación, el cual busca identificar de manera exploratoria, el comportamiento y distribución de las temperaturas atmosféricas durante un día caluroso de verano, analizando su relación con factores geográficos y urbanos que caracterizan a la ciudad, y que en materia de regulación térmica, son desde la literatura, considerados determinantes.

1.3 Área de estudio

La ciudad de Valparaíso, se sitúa a 33° 03' de latitud sur y 71° 38' de longitud oeste, en la zona costera de la región de Valparaíso (Figura N°1). De acuerdo a la división político administrativa del país, se encuentra en la provincia y comuna del mismo nombre, y es capital regional y provincial. Las otras comunas que conforman la provincia de Valparaíso son: Juan Fernández, Puchuncaví, Quintero, Concón, Viña del Mar y Casablanca¹.

Figura N° 1: Área urbana de Valparaíso.



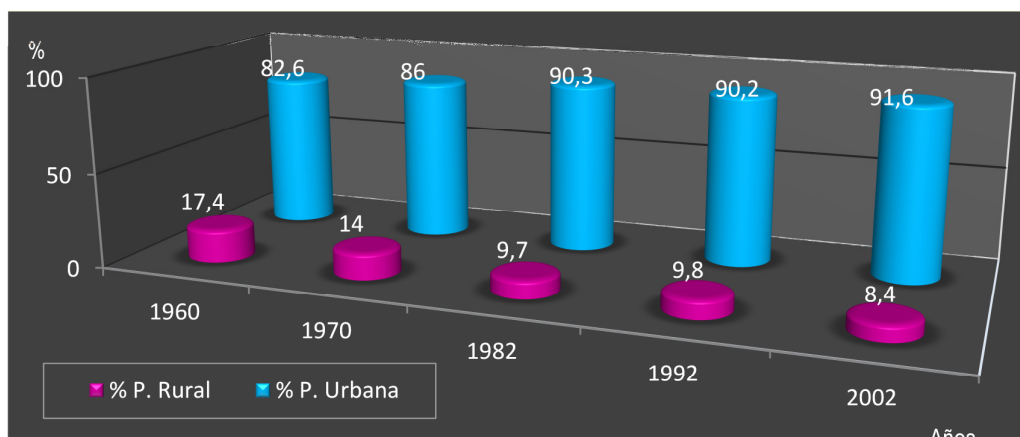
Fuente: Elaboración propia, en base a mosaico de fotos aéreas obtenidas de la Secretaría de Planificación y Transporte (SECTRA), 2010.

¹Las comunas de Quilpué y Villa Alemana, actualmente forman parte de la nueva provincia del Marga-Marga, la cual fue creada el año 2009 e instaurada oficialmente el año 2010.

La superficie regional, alcanza los 16.396,1 km², mientras que la provincia de Valparaíso, bajo la última reformulación regional de la división política administrativa, llega a los 2.146,6 km². La comuna en tanto, posee unos 401,6 km² de superficie. (Atlas Interactivo, INE, 2011).

La concentración y el flujo de población desde áreas rurales a urbanas en la región, como se observa en la Figura N° 2, ha sido la tendencia, y el porcentaje de población urbana regional, en el año 2002 ya casi alcanzaba el 92%. Respecto a la comuna de Valparaíso, el mismo año albergaba 275.982 personas, de los 876.022 habitantes del total de la provincia, siendo superada en cantidad, solo por la comuna de Viña del Mar (286.931 hab.). Del total mencionado, 841 personas habitaban en zonas rurales y 275.141 lo hacían en áreas urbanas, es decir 0,3 y 99,7% respectivamente. (INE, 2008).

Figura N° 2: Población de Valparaíso según zona de residencia. 1960 – 2002.



Fuente: INE, 2008.

Respecto al clima, la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), lo define como “...templado cálido con lluvias invernales, estación seca prolongada (7 a 8 meses) y gran nubosidad.” (Clasificación climática modificada de Köppen), lo que significa que la nubosidad, aunque es más intensa en invierno, es típica durante todo el año. Esta situación de nubosidad “casi permanente”, tiene su explicación en la inversión térmica que se produce a esas latitudes en zonas costeras, debido al predominio de anticiclones, aguas subantárticas y vaguadas costeras. En términos de la circulación general de la atmósfera, se trata de masas de aire que a medida que avanzan a latitudes mayores, se van enfriando aumentando su densidad lo suficiente, como para

comenzar a descender lentamente, aumentando así, sus temperaturas por compresión. En torno a los 30 ° de latitud sur y al encontrarse con aire más frío y húmedo en sectores oceánicos, se genera una capa de inversión térmica por subsidencia, la cual se complementa con episodios comunes de inversión térmica por radiación, sobretodo en noches despejadas. Paralelamente, la presencia del mar, favorece que la humedad relativa sea alta (82% en promedio), y las amplitudes térmicas bajas, existiendo diferencias entre la temperatura media del mes más cálido y el más frío, de sólo 5° a 6 ° C, y una diferencia diaria entre las temperaturas máximas y mínimas, que varía entre 7 °C en verano y 5 °C en invierno (DMC, 2011). En invierno, las mínimas absolutas, se generan por el ingreso normal durante este periodo, de masas de aire de origen polar, bajo condiciones anticiclónicas con ausencia de sistemas frontales. La primavera en tanto, en la totalidad de la región, es más fría que el otoño. (Erazo, 2006). Considerando la normal climatológica 1961 – 1990, la temperatura media anual alcanza los 14 °C y durante la estación de verano, aumenta a 16,4 °C. Las temperaturas mínima y máxima media anual, en tanto, son de 11,2°C y 17,5 °C y en verano de 13,1°C y 20,2°C respectivamente (DMC, 1991). Las temperaturas medias, mínimas y máximas, que caracterizan los meses de verano, se muestran en la tabla N°2, donde se observa que las temperaturas durante los meses de enero y febrero, son muy similares.

Tabla N° 2: Temperatura media, mínima y máxima promedio (°C), de los meses de verano, obtenidas de la estación Faro Punta Ángeles, considerando la normal climatológica 1961 – 1990.

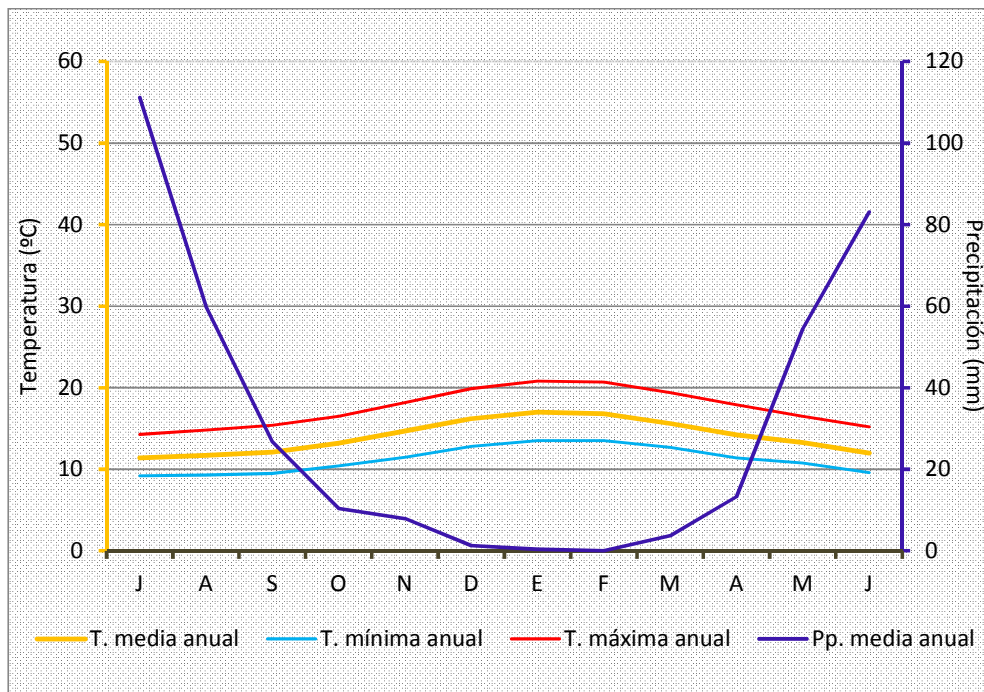
Mes	Temperatura media	Temperatura mínima	Temperatura máxima
Diciembre	16,2	12,8	19,9
Enero	17	13,5	20,8
Febrero	16,8	13,5	20,7
Marzo	15,6	12,7	19,4
Promedio verano	16,4	13,1	20,2

Fuente: DMC, 1991.

Como se observa en el Climograma de Gaussen (Figura N°3), en el cual, los datos termo pluviométricos medios mensuales, se muestran en una razón de uno es a dos, respectivamente, la precipitación media anual, supera los 350 milímetros, y suele concentrarse entre los meses de mayo y agosto. Entre estos meses precipita más del 80% del total anual, lo que sumado a los fuertes vientos sinópticos, a los que está

expuesta la ciudad, le da características de temporal a los episodios de precipitaciones abundantes. (DMC, 2011). El mes más lluvioso, es julio, el cual registra 111,2 mm de agua caída de acuerdo a la normal ya citada. Los meses de aridez, representados por el área, donde la curva de precipitaciones, está por debajo de la curva de temperatura media anual, van desde septiembre hasta abril, siendo febrero, el único mes, que no registra precipitaciones.

Figura N° 3: Climograma de Gausson estación Faro Punta Ángeles, Valparaíso. 33° 01` S; 71° 38` W. - Normal climatológica 1961 - 1990.



Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionados por Dirección Meteorológica de Chile, 1991.

Los vientos de origen sinóptico, alcanzan una velocidad promedio de 15 km/hora y tienden a ser más intensos y persistentes en verano (DMC, 2011). Adicionalmente los procesos de regulación térmica entre tierra y mar, generan brisas de mar a tierra durante el día y de tierra a mar durante la noche. Las primeras favorecen el transporte por advección, de masas de aire más frías y húmedas desde el mar al interior, mientras que las segundas, el transporte hacia la costa, de masas de aire provenientes de las terrazas que conforman la periferia de la ciudad. Debido a la cantidad de insolación recibida, comparativamente las brisas de mar, son más intensas y dinámicas que las de tierra.

En términos de su capital social y cultural, en la ciudad de Valparaíso, se reconocen ciertas particularidades que la hacen muy atractiva, y que tienen que ver principalmente con el fuerte vínculo identitario que proyectan sus habitantes con la ciudad, cerros y barrios, así como con su condición de puerto y su arquitectura, la cual se adapta a una compleja orografía. Todo lo anterior configura un paisaje único, que hace de Valparaíso un centro de atracción para muchas personas. Destacan además, su conexión a la capital, y al paso transfronterizo Los Libertadores, así como su cercanía a otras ciudades y balnearios. En mayo del año 2003, fue nombrada capital cultural de Chile y posteriormente, en julio del mismo año, fue declarada Patrimonio de la Humanidad por La Organización de las Naciones Unidas, la Ciencia y la Cultura. (Ilustre Municipalidad de Valparaíso, 2011).

1.4 Objetivo general

Analizar la variabilidad espacial y temporal de la temperatura atmosférica en Valparaíso, identificando relaciones causales con variables geográficas y urbanas, que puedan ser consideradas en los instrumentos de gestión y planificación de la ciudad.

1.5 Objetivos específicos

- Identificar y analizar el comportamiento y distribución espacial de las temperaturas atmosféricas, durante un día cálido de verano, en el área urbana de Valparaíso.
- Identificar y analizar la distribución espacial de variables geográficas y urbanas, que permiten explicar la distribución espacial y temporal de las temperaturas atmosféricas.
- Explicar el comportamiento y distribución espacial de las temperaturas atmosféricas, en función de variables geográficas y urbanas.

1.6 Hipótesis

La condición de ciudad costera de Valparaíso, favorece que su clima local, pueda ser considerado un capital ambiental que le otorga ventajas comparativas en materia de regulación climática. Sin embargo, cuando la variabilidad de las temperaturas, es analizada a escala del dosel, se observa que la ciudad comparte rasgos comunes de un clima urbano deteriorado. La variabilidad de las temperaturas atmosféricas, está estrechamente vinculada, a la presencia y estado de la vegetación, y a los porcentajes de impermeabilización del suelo, por lo que, independiente de su cercanía al mar, el Plan de Valparaíso, concentra temperaturas más elevadas que la periferia, y en general, tanto el comportamiento como la distribución espacial de las mismas, muestra una alta heterogeneidad en un mismo horario a pocos metros de distancia. Considerando lo anterior, las ventajas comparativas de la ciudad, están fuertemente condicionadas a las intervenciones dispuestas por los instrumentos de gestión y planificación urbana.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Ciudad, ecosistema urbano, urbanización y sustentabilidad.

El ser humano, al vivir en una dimensión de necesidad, entabla una red de vínculos esencialmente económicos y políticos, dando forma a sociedades de culturas diversas, que transforman lo naturalmente dado en el espacio, necesario para su subsistencia y desarrollo. En este proceso, se generan flujos de energía, materia e información, los cuales, siguiendo los principios de eficiencia y eficacia, tienden a tener su matriz en lugares estratégicos, como las ciudades.

La ciudad, es definida principalmente, en base a los paradigmas socioeconómicos circunstanciales y en función de su estructura, funciones e impactos sobre el medio ambiente. Topalov (1979), por ejemplo, señala que la ciudad es una forma desarrollada de cooperación entre fuerzas de producción, dadas por una organización del espacio, que es el resultado de múltiples procesos privados de apropiación del territorio. En ecología, en tanto, la ciudad es definida sobre la base de las relaciones entre componentes naturales y artificiales del paisaje, que determinan su estructura, funcionamiento y cambios. Se ha pasado por varias etapas, desde el análisis de los ecosistemas en las ciudades, hasta el tratamiento de las ciudades como ecosistemas. En el primer caso, la actividad humana se considera como un elemento distorsionador de los sistemas naturales, mientras que en el segundo, forma parte de la propia dinámica de los ecosistemas (Barrios, 2012). Para Antrop (2000), la ciudad vista como ecosistema, puede ser definida como un organismo complejo, de gran influencia sobre su entorno, que se caracteriza por la diferenciación interna del espacio que ocupa, para asegurar así su funcionamiento global, en el cual los flujos de materia y energía, son un producto de las relaciones entre organismos vivos y el medio físico en el cual se desarrollan. La Agencia Europea del Medioambiente, recoge este enfoque y describe a la ciudad como *“...un ecosistema abierto y dinámico, que consume, transforma y dispersa materiales y energía, que se desarrolla, interactúa y adapta a otros ecosistemas y que es altamente artificial y dominada por una especie, la humana, la cual sobrevive y genera modos de vida, usando servicios básicos aportados por la naturaleza y biodiversidad de otros ecosistemas. Tales servicios, originados dentro y fuera del área urbana, incluyen la regulación del ciclo del agua y el clima, la purificación del aire, agua y suelo, así como la producción de comida y otros bienes”* (EEA, 2010).

La urbanización por su parte, es el término general empleado para designar los procesos de cambio en el paisaje rural o natural, inducidos por el crecimiento de la ciudad (Antrop, 2000), y que tienen que ver, con la necesidad de aumentar el espacio vital, en el cual se seguirán agrupando y desarrollando, las estructuras, sus funciones, rutinas y relaciones de poder humanas.

Respecto al concepto de sustentabilidad, este comienza a tomar forma en 1962, con la publicación del libro “La Primavera Silenciosa” de Rachel Carson. La discusión que provocó su divulgación, generó una revolución ambiental en Estados Unidos durante la década de 1960, dando pie a que en 1970, se creara la primera agencia gubernamental para la protección del medio ambiente (EPA) y que en 1972, durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre ambiente humano, se pusiera de manifiesto la importancia y necesidad, de establecer relaciones comunes entre la protección medioambiental y el crecimiento económico. En este escenario, se crea el Programa Ambiental de las Naciones Unidas, el cual tenía como misión, *“proveer liderazgo y compromiso mutuo en el cuidado del medioambiente, inspirando, informando y posibilitando a las naciones y las personas, el mejoramiento de su calidad de vida sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras”*. Esta misión, es tomada como eje central de trabajo, por la primera Comisión Mundial sobre Ambiente y Desarrollo, creada por las Naciones Unidas en 1983, y presidida en ese momento, por Gro Harlem Brundtland. La comisión Brundtland, publica en 1987, el libro “Nuestro Futuro Común”, donde se postula, que la protección del medio ambiente, es una tarea global, y que toda acción debe ser evaluada bajo tres enfoques: el ambiental, el económico y el social, constituyendo estos, el eje para sustentar un desarrollo, que no comprometa las opciones de satisfacer las necesidades de las generaciones futuras. A partir de ese momento, el concepto es incorporado en todos los programas de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), y es abordado como eje rector de trascendentes reuniones como la Cumbre de la Tierra, celebrada en Río de Janeiro en 1992, en la cual, se acuerdan 27 principios relacionados con la sustentabilidad, que se materializan en un programa mundial conocido como Agenda 21.

Con el tiempo, la sustentabilidad es abordada y redefinida de acuerdo al punto de vista de diversas disciplinas. La ecología, por ejemplo, profundiza en la capacidad de sostenimiento de un sistema en el tiempo, incorporando términos como ritmo, intensidad, capacidad de carga, resiliencia y adaptabilidad (Calvente, 2007). Por otra parte, la complejidad que supone abordar diversas problemáticas ambientales, bajo el prisma de la sustentabilidad, exige una mejor comprensión del funcionamiento e

interrelaciones de los componentes del paisaje, y hace que los enfoques ecosistémicos y el trabajo multidisciplinario, se conviertan en una cuestión fundamental.

Al respecto, los enfoques y definiciones dadas por la ecología, son especialmente interesantes, considerando que los objetivos de la sustentabilidad, tienen mucho que ver con conceptos tratados largamente por la ecología. Saavedra *et al* (2012) y Colding (2006), por ejemplo, señalan que la sustentabilidad está estrechamente vinculada con la resiliencia o capacidad de los sistemas, para persistir y transformarse a sí mismos, en presencia de perturbaciones significativas, y con su capacidad para seguir proporcionando los servicios ecosistémicos que sustentan la vida. Este concepto, ha sido aplicado en algunos casos, para el análisis de los procesos que reestructuran la ciudad y en esta línea, algunos sugieren, que se debería poner especial atención, a aspectos propios de la resiliencia, como el grado de perturbación que un sistema puede recibir sin cambiar su estructura y procesos, la capacidad de un sistema para auto-organizarse después de una perturbación, y la posibilidad de mejorar su capacidad de aprendizaje y adaptación. Procesos en los cuales, el capital social, entendido como las conexiones entre las personas, a través de redes sociales, considerando normas y confianza, que facilitan una respuesta compartida bajo objetivos comunes, aparece como una condición esencial (Saavedra *et al*, 2012).

2.2 Las contradicciones del Estado.

Se dice que el Estado moderno, nace al igual que otras conformaciones políticas previas, para controlar la fuerza arbitraria y que por lo tanto, se explica y justifica, sobre la base de un motivo: resguardar y garantizar las pretensiones justas no sólo de quienes ostentan de más poder, sino que también y sobre todo, de los que tienen menos, poco o ninguno. Así, se delegan los poderes individuales para que en las relaciones que se establezcan no impere la utilidad, sino la justicia y la utilidad se vuelva legítima (Herrera, 2009; Valadés, 2010). La resolución 41/128 de las Naciones Unidas de 1986, en tanto, señala que el Estado debe ser garante del derecho al desarrollo de las personas, destacándose que ello, no implica solo tener acceso a servicios básicos, sino que también, supone asegurar que los sujetos sean partícipes de las decisiones que les afectan, y que puedan beneficiarse de los frutos del

desarrollo, independientemente de la posición que ocupan en la sociedad (Slowing, 2011).

Cuando el Estado legitima el modelo de desarrollo actual, abandona parte fundamental de su razón de ser, ello porque tal como afirma Topalov (1979), “... *el estado finalmente no es un sujeto dotado de voluntad, sino un conjunto de aparatos que realizan el interés general de la clase dominante.*”, y si bien “... *al despliegue humano, también contribuyen las asociaciones de tipo empresarial y gremial, al ocuparse de proveer lo necesario para la vida y para una vida cómoda, no es posible abstraerse del criterio utilitario de estas asociaciones, por lo que el despliegue efectivo de todos los miembros de la unidad política, exige una regulación estatal dirigida a suspender el razonamiento orientado según ese criterio, en beneficio de los más pobres, así como de modos de vida más naturales y menos enajenantes, lo que incluye la relación del ser humano con su medioambiente...*” (Herrera, 2009).

Al respecto, es relevante profundizar en que, desde el aparato estatal, se espera un trabajo dirigido a una mayor inclusión, representatividad y por tanto equidad social, cuestión que para muchos puede concretarse por medio de la participación y fiscalización estatal. Sin embargo, las medidas orientadas al adelgazamiento del Estado, en cuanto al tamaño y calidad del aparato público y sobre todo, a la reducción de su papel en la gestión y ejecución de las acciones para el desarrollo, hace difícil que el principio de bien común sea resguardado y que en el caso de la ciudad, este sea materializado en una estructura y funcionalidad urbanas, acordes por ejemplo, con los principios de la sustentabilidad.

El modelo actual de desarrollo en la ciudad, se traduce en un crecimiento urbano en donde el espacio se estructura y ajusta, frecuentemente en función de proyectos aislados. A ello el Estado contribuye, definiendo su participación a marcos indicativos, mientras que flexibiliza los normativos (De Mattos, 1999; Hidalgo *et al*, 2009). Lo anterior, ha generado cambios drásticos en la imagen y configuración espacial de las ciudades, que según De Mattos, 2002, comienzan a generarse a partir de la década de los 80, y más notoriamente de los 90. Estos cambios vienen dados principalmente por:

- La rápida expansión de los centros urbanos, a pesar de la disminución del crecimiento demográfico.
- La migración intraurbana de la población, desde el centro hacia la periferia.
- El crecimiento de nuevos centros periurbanos.
- El policentrismo de la estructura y funcionamiento metropolitano.

- La formación de áreas periurbanas híbridas como condominios y parcelas de agrado.
- y la construcción de nuevas estructuras o artefactos urbanos.

A ello, Romero & Vásquez (2005), agregan que “...*la consolidación del mercado como exclusivo mecanismo de construcción del medio ambiente urbano, ha requerido de la profundización de la comodificación, es decir, de la transformación de la totalidad de los bienes y servicios, incluyendo los ambientales, en commodities o productos de consumo, transables libremente en el mercado*”, cuestión que inevitablemente, confluye en la formación de ciudades donde el acceso a servicios ambientales no es equitativo, pues depende frecuentemente de la capacidad adquisitiva de las personas. Los problemas asociados a las externalidades no deseadas de la urbanización y que afectan negativamente la calidad de vida, para muchos, tienen su raíz en un problema de enfoque, donde las estructuras argumentativas que justifican el proceder de las políticas de Estado, están llenas de omisiones. Para Garnier, 1976, todo ello, en materia de planificación urbana, toma forma cuando se centra la atención en los efectos más que en las causas, o en tomar como causas lo que no son más que efectos, dejando en último plano, las determinantes sociales de las problemáticas urbanas. Al respecto este autor afirma que la planificación urbana, vinculada al Estado capitalista, fragmenta conceptualmente la realidad social y que “...*en vez de ver en las problemáticas urbanas el surgimiento de una nueva forma de contradicción, se las expone como una consecuencia de una mala organización del espacio...*”

Al respecto, la literatura insta a entender los espacios tangibles (estructura urbana) y perceptibles (calidad ambiental) en la ciudad, como construcciones sociales, donde el trabajo orientado a la solución de las problemáticas urbanas, no puede ser abordado, por medio de una premisa que sostiene que los conflictos actuales, tendrán su solución en la medida que se supere una cuestión particular, como la cuestión económica.

2.3 La ecología del paisaje aplicada al estudio de las problemáticas ambientales urbanas.

La ecología del paisaje, analiza las interacciones recíprocas entre patrones de distribución espacial de distintos procesos ecológicos, abocando gran parte de su trabajo, a la comprensión de las perturbaciones y sus efectos sobre determinados ecosistemas a diferentes escalas (Turner, 2005). La ecología urbana en tanto, surge principalmente de la necesidad de abordar las problemáticas ambientales de la ciudad, desde un enfoque que permita incorporar los principios de la sustentabilidad. Posee un cuerpo teórico en formación, que aplica conceptos y teorías de la ecología tradicional, sobre todo de la ecología del paisaje, pero que se nutre con otras disciplinas, como el urbanismo, economía, antropología, geografía, derecho e historia (Santoni, 2009).

Ecosistema y paisaje, son los términos comúnmente utilizados por la ecología urbana, para estudiar el espacio urbano y la relación entre los componentes que lo conforman. Ambos pueden ser analizados a diferentes escalas, no obstante, el término paisaje, si bien se refiere a un sistema abierto y dinámico, enfatiza más la configuración del espacio, como producto de cambios sociales y culturales. Se considera, un término, holístico, relativo y dinámico, difícil de precisar debido a que se refiere a observaciones subjetivas, marcadas por la experiencia estética propia de cada observador, así como también, porque puede ser utilizado para referirse a situaciones particulares de la realidad, donde se reconoce el término, generalmente en un sentido tipológico y corológico (Antrop, 2006). Con todo, en el estudio de la historia del uso del concepto, se reconocen algunos elementos comunes para su definición. Hace referencia a un espacio geográfico delimitado por la escala, que se organiza y gestiona en base a las características naturales y culturales únicas de una región, en donde la percepción siempre es un aspecto medular a considerar, debido a que no sólo cambia de persona a persona, sino que también, de un periodo histórico a otro. El Convenio Europeo del paisaje, elaborado el año 2000 por el Consejo de Europa, lo define de hecho, de manera bastante generalizada, afirmando que se trata de un área, tal como lo percibe la población, cuyo carácter es el resultado de la acción e interacción de factores naturales y/o humanos.

El análisis integrado del paisaje, constituye un enfoque basado en el holismo, la percepción y evolución (Antrop, 2000). Según este autor, por medio del holismo, a cada elemento en un sistema, se le atribuye un significado en función de su relación con el resto de los elementos, constituyendo el cambio en uno de ellos, el cambio de la

totalidad. En este sentido, este término ayuda a comprender la interacción entre la estructura y funcionamiento del paisaje, tomando gran relevancia en ese proceso, la escala. La percepción, en tanto, está estrechamente ligada al holismo ya que cada elemento o paisaje, tiene sentido, significado o valor de acuerdo al contexto o elementos circundantes. A su vez, el valor que las personas asignan a un paisaje, viene dado por procesos individuales de aprendizaje y conocimiento, que vinculan lo que se observa con la experiencia, cuestión que repercute directamente, en los procesos de planificación, debido a que la percepción por ejemplo, determina en gran medida el análisis y reconocimiento de patrones y estructuras espaciales, así como la evaluación y valorización de diversos paisajes. La evolución por su parte, se refiere al estado de transición constante del paisaje, basado en la interacción entre estructura y funcionamiento. La velocidad y magnitud de las perturbaciones, son consideradas los factores más relevantes relacionados con la evolución del mismo.

A lo anterior es preciso agregar, que el paisaje se caracteriza por poseer simbolismo y utilidad y por tanto, valor para la sociedad en su conjunto. El paisaje está lleno de pasado y recuerdos, los que tienen un fuerte valor simbólico. En este aspecto la belleza, entendida como un sentido propio de la condición del Hombre, difiere entre personas, culturas y periodos de la historia, sin embargo, en la percepción de la misma, destaca la proporcionalidad y coherencia, como eje en la comprensión de las relaciones entre elementos. Considerando aquello, hay quienes mencionan que el comportamiento del Hombre, está condicionado parcialmente por la experiencia y evaluación estética que hace de su entorno, y que por ende, la degradación de un lugar, bien puede estar asociada al poco valor que se le da. En general, en términos de planificación, se considera que el significado simbólico de los paisajes, ofrece valiosa información para la gestión sustentable de ellos a futuro (Antrop, 2005). Respecto al valor asociado a su funcionalidad, el paisaje traspasa el concepto de propiedad privada, y tiene una funcionalidad particular no solo para sus propietarios, sino que también, para todos quienes usufructúan de él, de diversas maneras, haciendo uso por ejemplo, de los servicios ambientales que prestan.

Los servicios ambientales, son definidos como beneficios utilizados por la población, que directa o indirectamente son derivados de las funciones ecosistémicas (Bolund & Hunhammar, 1999). Si bien hay algunos que no son consumidos directamente por las personas, sí son relevantes para asegurar el funcionamiento de los mismos, como por ejemplo, la polinización de las plantas y el ciclo biogeoquímico de los nutrientes. El paisaje natural ofrece el marco en el que se sustentan los recursos y funcionamientos

ecológicos que prestan servicios ambientales a la población. El aumento de la fragmentación y la pérdida de su conectividad, provocan un mal funcionamiento del paisaje y la reestructuración del entorno geográfico debido al cambio en los balances de energía y en los ciclos naturales, principalmente del agua. Actualmente, se reconoce desde la literatura, que su restauración, está directamente asociada a la presencia de áreas verdes y de fuentes de humedad en general, por lo que ecosistemas conformados por parques, humedales, ríos, mar, lagos, áreas extensas de césped etc. son considerados determinantes para generar un medio ambiente urbano sustentable (Honjo & Takakura, 1991; Nowak & McPherson, 1993; Bolund & Hunhammar, 1999; Romero & Vásquez, 2005; Smith, 2007; Ruiz – Flaño *et al*, 2008; Zhang *et al*. 2008; Sarricolea *et al*, 2008; Romero *et al*. 2008). Servicios ambientales trascendentales en áreas urbanas son: la infiltración de aguas lluvias, filtración de contaminantes presentes en el aire, regulación del clima, reducción del ruido, tratamiento de aguas residuales, control de procesos erosivos y recreación. Debido a su relevancia, la pérdida de alguno de ellos, actualmente es considerada un indicador de degradación de los ecosistemas urbanos y de pérdida de calidad de vida (Colding, 2006).

Respecto a la estructura y funcionamiento del paisaje, como ya se mencionó, estos están íntimamente relacionados, y son vistos desde la ecología, como la fuerza motriz de la evolución del mismo. Para Antrop 2000, en los procesos de reestructuración, pueden identificarse básicamente dos fuerzas motrices. La primera, está asociada a individuos no relacionados, y se caracteriza por el desarrollo autónomo, donde las acciones ejercidas sobre el medio ambiente, son esencialmente aisladas, dando un carácter caótico al espacio. La segunda, tiene que ver justamente con lo contrario, es decir, con acciones que apuntan al desarrollo coordinado de un conjunto de individuos, donde la optimización del funcionamiento del sistema, viene dado por procesos que apuntan al bien común. La analogía de estas fuerzas motrices, con los procesos sociales y económicos, que transforman el espacio, en materia de planificación, es especialmente interesante para identificar determinantes sociales en las causas, y repercusiones espacial y temporalmente relacionadas a las perturbaciones. La perturbación, definida como cualquier evento de ocurrencia abrupta o relativamente discreta en el tiempo, que altera los ecosistemas (Pickett & White, 1985 en Turner, 2005), genera cambios en la estructura y conectividad de los recursos, en la disponibilidad de servicios ambientales y confluye en la formación de espacios aislados y heterogéneos, a diversas escalas. En la ciudad, por ejemplo, la persistencia

de muchas especies, depende de su capacidad para moverse en un paisaje modificado a través de diferentes parches de hábitat, por lo que la conectividad o relación entre diferentes áreas, constituye un factor fundamental para comprender la persistencia y desarrollo de una especie. En áreas altamente urbanizadas, los hábitats disponibles para las especies no humanas, se ven drásticamente reducidos y suelen estar fuertemente degradados y aislados; paralelamente, el desarrollo y calidad de vida de las personas, frecuentemente está condicionado a la capacidad de movilidad de las mismas (en su sentido más amplio), para hacer uso de los servicios tanto ambientales como no ambientales, que la ciudad, su estructura y funcionamiento ofrecen.

Respecto a la forma en que el paisaje es analizado, destacan principalmente tres enfoques, estos son: el enfoque temático, el regional o jerárquico y aquel asociado a la métrica del paisaje.

El enfoque temático, se centra en identificar relaciones causa – efecto, entre determinados componentes del paisaje. Usualmente, estos se analizan de manera aislada, para luego establecer relaciones vinculantes. Así por ejemplo, para identificar relaciones espaciales entre diversos componentes de la ciudad, con la variabilidad de su campo térmico, se pueden abordar y analizar diferentes variables geográficas y/o urbanas, por medio de mapas temáticos que muestren su distribución espacial y a los que por medio de diferentes métodos, se les puede relacionar.

El enfoque regional o jerárquico, en tanto, profundiza en la identificación de patrones y criterios de diferenciación y por tanto, en la clasificación del paisaje por medio de unidades de análisis estructural y funcionalmente diferentes. Se identifican así diferentes tipos de paisaje, a los cuales es posible atribuirles determinados rasgos característicos. Un ejemplo de ello, son las clasificaciones de usos y coberturas del suelo, así como el modelo de Zonas Climáticas Termales, descrito más adelante.

El tercero, tiene como objetivo describir cuantitativamente las propiedades estructurales y funcionales de un paisaje, con el fin de identificar, medir, comparar y monitorear, cambios en el mismo. Frecuentemente utiliza entre sus métodos de análisis, indicadores y técnicas asociadas a la teledetección, como por ejemplo, en el caso de los estudios que analizan el cambio y productividad de la vegetación en diferentes años y/o estaciones.

2.4 Clima y clima urbano

El concepto de clima, ha sido definido por muchos autores, apuntando la mayoría de ellos, a las condiciones atmosféricas características de un lugar geográfico, considerando la variabilidad de distintos parámetros meteorológicos en el tiempo. (Linés, 1996). La Organización Meteorológica Mundial, en 1987, ofrece una definición a ser considerada como formal, donde se establece que el clima “...es el conjunto fluctuante de condiciones atmosféricas, caracterizado por los estados y la evolución del tiempo, en el curso de un periodo suficientemente largo en un dominio espacial determinado” (OMM, 2011), recomendando 30 años, como intervalo de tiempo para cuantificar el comportamiento promedio, de diferentes parámetros meteorológicos.

El clima, se constituye en base a un conjunto de procesos físicos, que tienen su origen en la desigual cantidad de radiación solar recibida por la Tierra a diferentes latitudes y escalas. De esta forma y básicamente por diferencias de presión atmosférica, se generan flujos de masas de aire y agua, que dan forma a la circulación general del sistema Tierra – Atmósfera y de los sistemas locales de transporte de aire. La complejidad de procesos que crean un clima, crece a medida que se incrementa la escala de análisis, y dentro de los factores que determinan su variabilidad, se agregan aquellos relacionados a la continentalidad, orografía y altitud, mientras que a escala local, los usos y coberturas del suelo, así como la complejidad que caracteriza a los mismos. Todo ello, hace su estudio, sumamente complejo, sobre todo considerando que todas las escalas espaciales están estrechamente vinculadas.

Al interior de la ciudad, se reconocen diversas perturbaciones al paisaje, que entre otras cosas, propician la formación de un clima diferente. La urbanización, modifica las características físicas de la superficie terrestre, por medio de las cuales la radiación solar, es capaz de ser absorbida, almacenada, transformada y emitida a la atmósfera, (Kusaka, 2008). Al respecto, los materiales de construcción urbanos, tienen mayor inercia térmica y propician una mayor absorción de radiación de onda corta y menor emisión de radiación de onda larga, por encima de los elementos de rugosidad (Grimmond & Oke, 1998). Consecuentemente, el enfriamiento radiativo es mucho menor en la ciudad, que en zonas rurales, ya que el calor acumulado en las estructuras urbanas, queda almacenado por varias horas tras la puesta de sol (Oke, 1987). A las propiedades físicas de las coberturas del suelo, se añaden las intensidades de sus usos y consumos de energía asociados, así como la configuración

de los elementos sobre la superficie. Altas densidades de construcción y edificios de gran altura, separados por cañones urbanos estrechos, por ejemplo, modifican la dirección e intensidad de los flujos de viento, intervienen en el paso de la radiación solar incidente y retardan los tiempos, en los cuales la radiación de onda larga, se libera a la atmósfera durante la noche (Elliason, 1999; Coutts *et al*; 2007). Todo lo anterior, define un comportamiento característico de los parámetros meteorológicos al interior de las ciudades, que dan origen a un clima urbano, el cual puede ser entendido, como una perturbación local del clima regional (Montávez *et al*, 2000; Papparelli *et al*, 2011).

La climatología urbana, es la disciplina que se aboca a su estudio, y tiene como objetivo “...el conocimiento preciso de los mecanismos propios del clima urbano y la evaluación de la alteración climática causada por la ciudad... con el fin de conseguir un ambiente más agradable y salubre para los habitantes de las ciudades, así como para prever las repercusiones que pudieran tener las modificaciones del clima a micro, meso y gran escala”. (Moreno, 1999). Los estudios en esta área, comienzan a desarrollarse a partir del año 1818 en Europa, y abundan en ciudades norteamericanas y japonesas (Carreras, *et al*. 1990). En el caso de Chile, la primera investigación, se remonta a 1981 y describe la isla de calor de Santiago (Aceituno y Ulriksen, 1981). Su desarrollo se ha masificado, especialmente teniendo en cuenta que hoy, la mayoría de la población mundial vive en la ciudad y que la modificación del clima, está directamente relacionada con la pérdida de calidad ambiental y por ende de calidad de vida al interior de las mismas. El reconocimiento de capas límites de afección de la modificación climática urbana y la consideración de la escala, han sido cuestiones largamente abordadas y actualmente, constituyen el marco rector de su análisis (Arnfield, 2003; Salamanca, 2010; Oke, 2010).

Considerando que la energía, constantemente cambia entre radiante, térmica, potencial y cinética, por medio de los procesos de conducción, convección y radiación, donde el almacenamiento o pérdida de energía, depende, de la capacidad de un elemento para absorber, transmitir, reflejar y/o emitir radiación (Oke, 1987), es que el estudio de ciertos parámetros meteorológicos, como la temperatura del aire y la humedad relativa, se ha desarrollado viendo en ellos, indicadores del estado de la energía y del agua, en el sistema Tierra – Atmósfera, y de los procesos que caracterizan al clima a escala humana (Arnfield, 2003). En el caso de las ciudades por ejemplo, las principales modificaciones climáticas, vienen dadas justamente por procesos asociados a la variabilidad temporal y espacial de estos parámetros, como

son el desarrollo de islas de calor, frío, sequedad y humedad (Carreras *et al*, 1990; Romero & Rojas, 2003).

Entre los efectos adversos de la modificación del clima asociados a la urbanización, destaca el desconfort térmico, causado por el exceso de calor y/o frío, lo que a su vez propicia, el aumento de consumo energético para climatización y de los contaminantes atmosféricos. Al respecto, Akbari *et al*, 2001, señala que una ciudad promedio, registra durante una tarde de verano 2,5°C más que sus alrededores rurales, y que la demanda energética se incrementa entre un 2 y 4%, por cada 1°C de aumento de la temperatura del aire, pasado los 20°C (Akbari *et al*, 1992 en Akbari *et al*, 2001). La concentración y estabilización de gases contaminantes, sobre determinadas áreas de la ciudad, favorece el aumento en la frecuencia y severidad de enfermedades respiratorias (el ozono por ejemplo, tiene un efecto vasoconstrictor), y es otro de los efectos más notorios, nocivos y costosos de los climas urbanos. Este proceso, vinculado a la modificación de los flujos de aire, que tienden a confluir por diferencias de presión, sobre las zonas térmicamente más cálidas y debido a la falta de ventilación, posee una relación directa con la cantidad de energía disponible en la atmósfera y por tanto, con la presencia, densidad y estado de la vegetación (Nowak & McPherson, 1993, Akbari *et al*, 2001; Sarricolea *et al*, 2008). Por otra parte, la presencia de contaminantes de efecto invernadero, como anhídrido carbónico, metano, óxidos de nitrógeno y clorofluorocarbonos, al presentar un comportamiento discriminatorio, esto es, ser transparentes a la radiación solar y receptores de radiación infrarroja, provocan un calentamiento adicional de la atmósfera urbana. El ozono troposférico, en tanto, aumenta la oxidación de algunas estructuras urbanas y junto con el resto de los gases contaminantes, aumenta el efecto de luz difusa, ocasionado por la dispersión y reflexión de la radiación de onda corta proveniente del sol, lo que disminuye la visibilidad y altera la percepción del color. Cabe mencionar, que la presencia de contaminantes, adicionalmente, modifica la entrada de radiación en zonas urbanizadas. En áreas industriales por ejemplo, la pérdida de radiación de onda corta puede ser entre un 10 y 20 % mayor en comparación con los alrededores, y en ciudades en las cuales son los vehículos la principal fuente de contaminación fotoquímica, se han establecido rangos de entre 2 y 10%, llegando a definirse pérdidas de hasta 30% en días especialmente contaminados y en momentos de baja elevación solar (Oke, 1987). A todo lo anterior, hay que agregar el estrés hídrico, así como el estrés y deterioro anímico y físico de las personas, con las consecuentes

repercusiones en sus comportamientos, más violentos, según señala Elliason *et al*, 2007 en Irarrázabal, 2010.

La isla de calor urbano, constituye un fenómeno característico del clima de las ciudades, y la principal consecuencia de la modificación de las temperaturas atmosféricas (Lamprey, 2009). Se define como la diferencia en el gradiente térmico, que existe entre áreas urbanas y su entorno rural o natural, donde la ciudad es comparativamente más caliente (Oke, 1987; Cuadrat *et al*, 1993; Arnsfield, 2003). Su estudio ha sido largamente abordado, porque permite aislar, cuánto más caliente puede ser una ciudad que su entorno en un momento dado, dónde lo es, a qué rasgos urbanos, geográficos, meteorológicos y sinópticos responde, y cómo influye a partir de todo ello, en la calidad ambiental de la ciudad y de vida de las personas.

Que las ciudades sean comparativamente más calientes, así como la presencia de islas de calor, responde principalmente a la falta de humedad (Coutts, 2007), a la admitancia térmica de los elementos de superficie urbanos (Grimmond & Oke, 1998), a la morfología o geometría urbana (Oke, 1987; Lindberg *et al*, 2003), a las altas cantidades de energía utilizadas en el desarrollo de las rutinas de las personas que habitan en ellas, especialmente en áreas céntricas (Oke, 1987; Cuadrat *et al*, 1993; Sarricolea *et al*, 2008; Lamprey, 2009) y al predominio de condiciones que en general, intervienen en la movilidad y mezcla de las masas de aire, como cuencas cerradas, condiciones sinópticas que favorezcan la ocurrencia de inversiones térmicas o a la ocurrencia de tiempos meteorológicos caracterizados principalmente por vientos débiles. Lo anterior, hace que en el análisis de la variabilidad del comportamiento diario y distribución espacial de las temperaturas, así como en el análisis de la intensidad de una isla de calor, definida esta última, como la máxima diferencia observada en las temperaturas, entre el centro de la ciudad y la periferia rural, en un momento determinado (Cuadrat *et al*, 2005, Sarricolea, 2008), sea determinante incluir características específicas de los usos y coberturas del suelo (Molina, 2007; Coutts, *et al*; 2007), sobre todo aquellas asociadas a las densidades de edificación y presencia de áreas verdes (Cuadrat *et al*, 2005; Yuan & Bauer, 2007; Sarricolea *et al*, 2008), rasgos geográficos que den cuenta de la orografía (Cuadrat *et al*, 2005) y factores culturales que determinan comportamientos, hábitos y rutinas a lo largo del día (Wienert *et al*, 2005; Stewart & Oke, 2009).

Estudios previos realizados para ciudades costeras, como Palmas de Gran Canaria (Ruiz – Flaño *et al*, 2008) y Santa Teresita, Buenos Aires (Verón, 2010), por ejemplo, muestran que las áreas más frías al interior de ellas, se corresponden con aquellas

situadas junto a la línea de costa y con áreas periféricas de mayor altura, mientras que las áreas más cálidas, lo hacen con áreas céntricas, en donde los usos de suelo están asociados al comercio y servicios y a un alto flujo vehicular. En el caso de ciudades ubicadas a similares latitudes como Rancagua (Sarricolea *et al*, 2008) y Santiago (Molina, 2007), los resultados indican que las temperaturas se distribuyen siguiendo un patrón policéntrico acorde con áreas densamente urbanizadas y en general con la forma en que han ido creciendo cada una de ellas. En Rancagua tanto en verano, como en el resto de las estaciones, las temperaturas guardan relación con su calidad de ciudad predominantemente compacta y homogénea, por lo que las temperaturas decrecen en intensidad desde el centro a la periferia. En Santiago en cambio, las temperaturas muestran una distribución altamente heterogénea que se relaciona a su vez, con la heterogeneidad de formas bajo las cuales esta ha ido creciendo. Se trata de una ciudad extensa, fragmentada y con múltiples núcleos funcionales, por lo que en su interior se reconocen diversas islas de calor, que no responden a patrones espaciales clásicos de islas de calor y en donde un mismo uso y cobertura de suelo, puede presentar una alta variabilidad de las temperaturas, asociada a los porcentajes de vegetación y de superficies impermeabilizadas (Molina, 2007). En el caso de Rancagua, variables determinantes de la distribución de las temperaturas, son la distancia a fuentes húmedas, densidad de población y elevación topográfica; las que en conjunto explican el comportamiento, distribución y presencia de una isla de calor nocturna en verano, que registra una intensidad de 5,4°C, la que según Fernández – García, 1995; puede ser considerada como fuerte (Tabla N°3).

Respecto a la estacionalidad de una isla de calor, se dice en general, que su ocurrencia aumenta en el verano, debido a la presencia de condiciones meteorológicas favorables a la acumulación de calor, como cielos despejados y vientos débiles (Montávez *et al*, 2000; Cuadrat *et al*, 2005). Por el contrario, una isla de calor puede desaparecer e inclusive no formarse, si las condiciones meteorológicas son desfavorables. Estados de tiempo frecuentes en otoño e invierno, como fuertes vientos y cielos cubiertos, dificultarían su formación, debido a la reducción de la radiación solar que alcanza finalmente el suelo y a la mezcla de las masas de aire urbanas y rurales (Georgakis *et al*, 2010; Salamanca, 2010, Verón, 2010). No obstante, hay quienes relativizan la ocurrencia de las mismas, a una combinación más variada de factores, en donde por ejemplo, la presencia de nubosidad podría perfectamente ser una condición favorable para su formación (Ruiz – Flaño *et al*, 2008).

La morfología de las islas de calor, en tanto, se caracteriza por mostrar una distribución concéntrica de las isotermas, aunque en el caso de ciudades costeras, muchas veces estas, se perfilan por la línea de costa, quedando la isoterma central abierta en dirección al mar (Carreras *et al*, 1990). La presencia de extensas mesetas térmicas, es decir, vastas áreas con similar temperatura, que muestran consecuentemente una alta homogeneidad en las mismas, es según el mismo autor, otra característica que se repite en un gran número de casos.

Tabla N° 3: Definición de la intensidad de una isla de calor según Fernández – García, 1995.

Gradiente térmico (°C)	Intensidad de la isla de calor
0,1 – 2,0	Débil
2,0 – 4,0	Moderada
4,0 – 6,0	Fuerte
sobre 6,0	Muy fuerte

Fuente: Elaboración propia.

Cabe mencionar, que la temperatura atmosférica se relaciona de manera inversa con la humedad relativa, consecuentemente cuando se genera una isla de calor, también se genera una isla de sequedad (Carreras *et al*, 1990). Al respecto, la presencia de vegetación y cuerpos de agua, contribuyen de muchas formas a inhibir el deterioro ambiental de las ciudades y a controlar los extremos en ambos parámetros meteorológicos, actuando como variables determinantes, además del viento, en la formación y control de la intensidad de las mismas (Vilela, 2004; Cuadrat *et al*, 2005). La vegetación, por medio de la evapotranspiración, aumenta la humedad relativa del aire y disminuye la cantidad de energía disponible en la atmósfera para ser almacenada en las estructuras urbanas, reduce las temperaturas sobre todo en verano, y adicionalmente, el consumo de energía por concepto de calefacción y aire acondicionado. Sus sombras disminuyen hasta en un 20% la radiación solar y su follaje y densidad, pueden reducir entre un 10 y 30 % la velocidad del viento (Bolund & Hunhammar, 1999). Adicionalmente, fijan contaminantes atmosféricos, especialmente CO²; mejoran las condiciones de ventilación de las ciudades, ya que enfrían las masas de aire, que se desplazan hacia zonas con menor presión atmosférica, generando así brisas locales; reducen la velocidad de los vientos y contrarrestan la escorrentía superficial de aguas lluvias, entre otros (Nowak & McPherson, 1993; Spronken - Smith & Oke, 1999; Chiesura, 2004; Vilela, 2004; Escobedo *et al*, 2008). Su rol como

regulador térmico, ha sido ampliamente estudiado, llegando a existir un vasto consenso, en que las islas de calor se crean principalmente por la falta de vegetación (Akbari, *et al*, 2001; Molina, 2007; Sarricolea *et al*, 2008), cuestión que ha llevado a que gran parte de las medidas de mitigación abocadas al control de temperaturas extremas y mejora de la calidad del aire entre otros, estén dadas justamente por la creación, densificación y gestión de áreas verdes (Chao *et al*, 2010), destacándose, que el volumen, ubicación, tipo y condición de la vegetación urbana, influye directamente sobre sus efectos benéficos (Nowak & McPherson, 1993; Vásquez & Romero, 2007). Respecto a la humedad del aire, hay estudios en donde se señala que una vez que el paisaje natural se sustituye, incluso con urbanización de baja densidad, la evapotranspiración se reduce significativamente, aumentando la disponibilidad de energía en el ambiente y disminuyendo la regulación de temperaturas elevadas. Considerando lo anterior, autores como Coutts *et al* (2007); destacan que las medidas de mitigación, referidas al aumento de cobertura vegetal, deben ir acompañadas de estrategias de retención de agua, con el fin de aumentar la eficiencia y eficacia, de los servicios ambientales asociados a ellas.

2.5 Escalas de análisis, metodologías y sistemas de clasificación para el estudio de la variabilidad climática urbana.

Metodológicamente, el concepto de escala, es fundamental para entender las formas en que los elementos de la superficie de áreas urbanas, interactúan con las capas atmosféricas adyacentes. Los elementos de rugosidad urbana, como edificios, pavimentos, parques y plazas, difieren en sus formas de almacenar y/o emitir energía, lo cual da lugar a intercambios de radiación espacialmente muy diferenciados, que pueden ser estudiados jerárquicamente, por medio de unidades de análisis, dadas por ejemplo, por el cañón urbano, barrios, comunas, ciudades o áreas metropolitanas. A cada escala, es posible identificar un comportamiento energético que repercute sobre los parámetros meteorológicos como temperatura, humedad relativa, vientos etc., y que es producto además, de las interacciones con las unidades espaciales adyacentes (Arnfield, 2003).

En el análisis vertical de la atmósfera, se distingue el desarrollo principalmente de dos capas, ellas son, la capa límite urbana y la capa del dosel urbano, las cuales son definidas en función del grado de influencia que ejerce la ciudad sobre ellas,

considerando que esta disminuye con la altura (Arnfield, 2003; Voogt, 2008; Oke, 2010; Salamanca, 2010). La distinción, entre cada una, ha sido desarrollada original y principalmente, para el análisis de las islas de calor urbano, pero constituye un marco rector, en la investigación de clima urbano en general.

En física de fluidos, se llama capa límite, a la región de un líquido o gas en contacto con una superficie material, en la que tiene lugar un intercambio de cantidad de movimiento, calor o masa entre dicha superficie y el fluido (Castro *et al*, 1991). Por analogía con este concepto, a la parte de la atmósfera que es sensible a los efectos directos de la superficie de la Tierra (sólida o líquida, sobre suelos con coberturas rurales, naturales o urbanas) se la conoce con el nombre de capa límite atmosférica (CLA). Consecuentemente, la capa límite urbana, deriva de este concepto y como su nombre lo indica, se refiere a la atmósfera influenciada por suelos urbanizados. En general, se considera que en esta capa, el flujo es completamente turbulento, de manera que en cualquier punto de ella, se observan variaciones bruscas en el valor que alcanzan parámetros meteorológicos como velocidad del viento, presión, temperatura o humedad del aire. Debido a ello, el efecto de la fricción superficial, el calentamiento del suelo y la evaporación, se transmite a toda la capa límite urbana de forma rápida, como consecuencia de los mecanismos de mezcla turbulenta (Sendiña & Pérez, 2006).

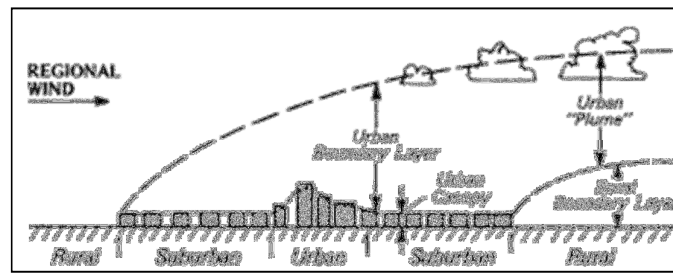
Respecto al espesor de la capa límite, varía entre 100 y 1.000 metros de altura (Oke, 1987), dependiendo de la rugosidad y características térmicas de las coberturas del terreno, así como de las condiciones sinópticas y meteorológicas prevalecientes durante un día y hora determinada (Voogt, 2005; Salamanca, 2010). Se identifica al interior de ella, una cúpula de aire comparativamente más cálido que el aire presente en áreas rurales circundantes, la cual se extiende a sotavento de la ciudad (Figura N° 4)

Al estar el espesor y turbulencia de la capa límite, determinados por la cantidad de radiación solar incidente, es posible identificar diferencias entre la capa límite urbana nocturna y diurna. Durante la noche, el aire en contacto con el suelo, se enfría más rápidamente que el que está por encima, formando un gradiente térmico inverso (inversión térmica por radiación), que inhibe los movimientos verticales. En el caso de las ciudades, este proceso se ve fuertemente debilitado, debido al atrapamiento de la radiación en las estructuras urbanas, a las fuentes de calor antropogénicas y al calor liberado desde las edificaciones y calles en forma de calor sensible. Se genera así, una capa de aire, que continúa calentándose en horas de la noche y que se diferencia

del comportamiento de la capa límite atmosférica en zonas rurales, formando lo que se conoce como isla de calor urbana nocturna (Salamanca, 2010).

Por sobre la capa límite urbana, el viento que predomina es el geostrófico y la turbulencia es muy escasa (Salamanca, 2010).

Figura N° 4: Representación gráfica de las capas atmosféricas presentes sobre áreas urbanas.



Fuente: Voogt, 2004.

La capa del dosel urbano, en tanto, se refiere a la atmósfera presente entre los elementos de rugosidad urbana, por lo que verticalmente, alcanza la altura promedio de los techos de las edificaciones (Figura N°4). El comportamiento y distribución de los parámetros meteorológicos en esta capa, están determinados por la naturaleza de las coberturas del suelo y por los procesos de intercambio de energía, entre los elementos de rugosidad, y superficies de los alrededores inmediatos (Oke, 2010). Debido a lo anterior, es posible identificar en ella, una alta variedad espacial de microclimas, muy sensibles a la turbulencia de los procesos de mezcla verticales (Salamanca, 2010), lo que hace muy complejo su estudio. Usualmente las investigaciones centradas en esta escala, se remiten al análisis de unidades espaciales específicas, que se repiten a lo largo de la cubierta urbana, como por ejemplo, el cañón urbano, sus paredes y suelo; destacándose, que esta forma de abordar el clima de las ciudades, reviste la ventaja de incluir a las estructuras y diseño urbano, como parte del sistema y no como cuestiones aisladas, ayudando a comprender la complejidad e importancia de los intercambios de energía entre escalas vinculadas (Arnfield, 2003). Al respecto, actualmente se tiene conocimiento, por ejemplo, de la cantidad de energía promedio, que se disipa y almacena entre los cañones, a diferentes latitudes, estaciones del año y bajo diferentes contextos urbanísticos. En el caso de latitudes medias, durante la estación de verano, se ha

estimado que al menos entre un 20 y 30 % de la energía, es retenida en los edificios durante el día y liberada por conducción, durante la noche (Oke, 1987).

En cuanto al estudio del comportamiento y distribución de las temperaturas, este suele ser abordado, mediante la interpolación y análisis de datos obtenidos por teledetección y/o por la medición *in situ*, de la intensidad de calor contenido en la atmósfera. Si bien ambas metodologías pueden ser utilizadas para describir y explicar el comportamiento y distribución de las temperaturas, describen procesos en sí diferentes, y por ende, su utilización depende del objetivo, sin que ello signifique, descartar la posibilidad de que sean complementarias en la explicación de un proceso. Al respecto, es preciso tener en cuenta, que en la relación entre intensidad y variabilidad espacial de las temperaturas atmosféricas y superficiales, la mayoría sugiere diferencias significativas considerando la hora del día, estación del año y usos de suelo, y en general, se considera que las temperaturas superficiales, muestran contrastes más fuertes en sus valores y mayor variabilidad espacial que las atmosféricas (Arnfield, 2003; Yuan & Bauer, 2007).

La temperatura de emisión superficial, obtenida por medio del tratamiento digital de imágenes de satélite, representa la medida de calor efectiva de los cuerpos sobre la superficie terrestre, dada por la radiancia, o total de energía radiada en una determinada dirección, por unidad de área y por ángulo de medida. La radiancia espectral que recibe el sensor en el dominio del infrarrojo térmico, no es el resultado de la reflexión de energía solar sobre la superficie, sino que es el resultado de la radiación emitida por esta (Chuvienco, 2002). La radiancia, por tanto, es un concepto que sirve para dar cuenta de la intensidad de calor emitido por un cuerpo (temperatura), y ello a su vez, se relaciona estrechamente con la capacidad de estos, para absorber la radiación solar incidente, cuestión ampliamente abordada en el análisis de la variabilidad espacial y temporal, e intensidad de islas de calor superficiales (Arnfield, 2003).

La temperatura atmosférica, a diferencia de las temperaturas de emisión superficial, representa, la medida de la intensidad de calor presente en el aire que es captada por un instrumento (termómetro) instalado en estaciones fijas o móviles. Este registro, sintetiza por medio de un dato, una temperatura que es resultado de un proceso de mezcla, en donde se conjugan el efecto de diversas variables, como son, la admitancia térmica de la cubierta circundante a la estación, el efecto de los vientos y humedad relativa, la cantidad de insolación recibida, sombras proyectadas, etc., sobre la temperatura (Grimmond, 2007), y por tanto, se considera una manera más fidedigna

de representar los cambios espaciales y temporales de este parámetro, sobretodo en áreas urbanas, en donde la multiplicidad de factores tanto geográficos, meteorológicos y urbanos, que intervienen en la modificación de las mismas, constituye en sí, el foco de interés de muchas investigaciones.

En relación a los sistemas de clasificación de los climas urbanos, estos han sido desarrollados con el fin de facilitar el estudio de las modificaciones experimentadas en la atmósfera, causadas por las diferentes coberturas y usos de suelo, identificando relaciones que se repiten a lo largo de unidades espaciales homogéneas, lo que permite la extrapolación de rasgos distintivos entre unas y otras.

La clasificación más antigua y utilizada, es aquella que contrasta las diferencias en el comportamiento de ciertos parámetros meteorológicos, sobre zonas rurales y zonas urbanas. Por medio de este enfoque, se ha confirmado reiteradamente el hecho, de que las ciudades modifican las condiciones climáticas preexistentes a su formación, generando condiciones climáticas propias, muy diferentes a las de zonas rurales y que afectan directamente la calidad de vida de la población que reside en ellas. Si bien, su uso ha significado un gran avance en climatología urbana, la clasificación urbano – rural, presenta importantes limitaciones para representar la complejidad de las relaciones entre paisaje y clima, advirtiéndose por ejemplo, que debido a su escala y disociación simplificada del paisaje, no permite dar cuenta de rasgos distintivos de la estructura urbana, ni de aquellas peculiaridades culturales, que distinguen radicalmente el modo e intensidad de uso y cobertura de los suelos, que se da sobre determinadas superficies. Consecuentemente, en el diseño metodológico, así como en la interpretación y comunicación de resultados obtenidos bajo este enfoque, se omite la especificidad del paisaje, cuestión que actualmente es considerada esencial en la comprensión de los factores, que contribuyen a la modificación climática y que definen por ejemplo, la intensidad de una isla de calor (Stewart & Oke, 2009).

Lo anterior, dio pie, al surgimiento de clasificaciones intraurbanas, abocadas a zonificar el clima, en función de relaciones definidas a una escala más detallada. Al respecto, Auer (1978), desarrolla una clasificación para la ciudad de San Luis en Estados Unidos, utilizando como criterio de diferenciación, el porcentaje de cobertura vegetal, asociado a los diferentes usos y coberturas de suelo al interior del área urbana. Por medio de ella, intentó explicar la variabilidad observada en las temperaturas y humedad relativa del aire, concluyendo que ni los usos y coberturas, ni la presencia de vegetación, dan respuesta por si solos ni en conjunto, a la configuración espacial y temporal de las mismas.

Dada la complejidad y cantidad de factores asociados a la modificación del clima, el estudio de relaciones causales se generaliza y en 1987, Oke ya señalaba, que la morfología urbana y la admitancia térmica de los materiales de construcción, eran factores determinantes. Considerando la importancia de la rugosidad, como forma de describir la morfología urbana, Davenport *et al*, 2000, elabora una clasificación basada exclusivamente en ella, aplicable tanto para zonas rurales como urbanas, y que consideraba como criterio diferenciador, la altura y densidad de los elementos en superficie.

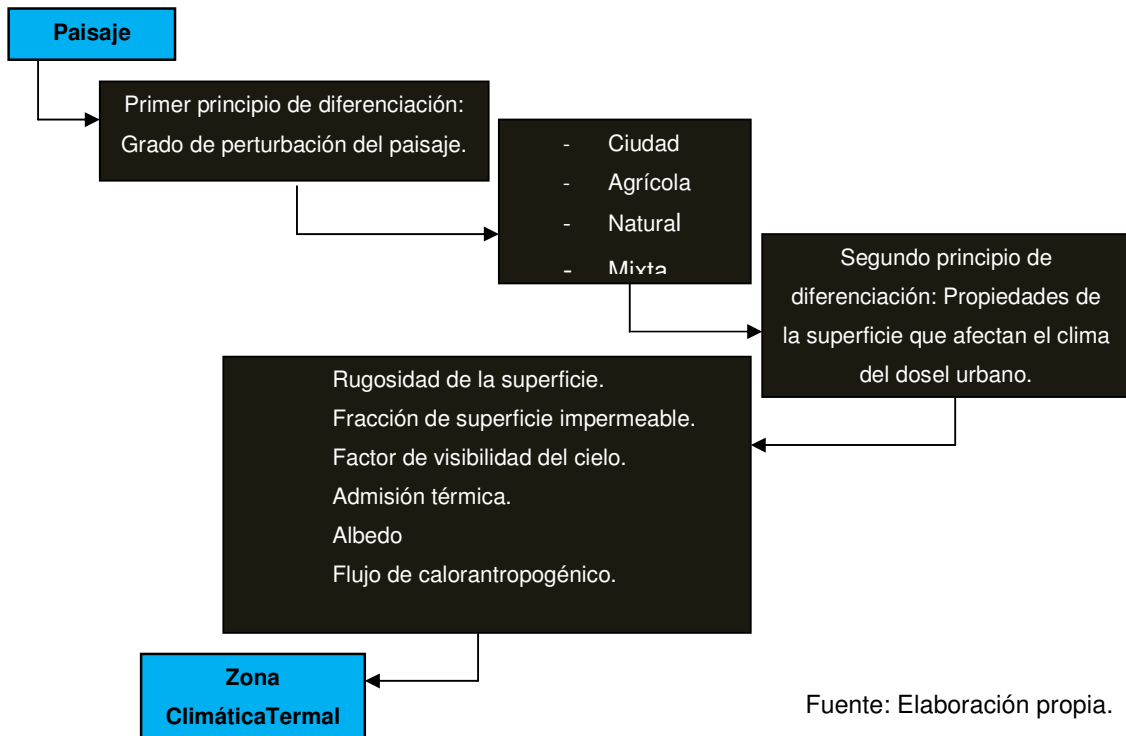
Más recientemente, en el año 2009, Stewart & Oke, publican los resultados obtenidos de la implementación de un modelo, que considera los avances hechos hasta entonces, en materia de clasificación climática a partir de una amplia revisión bibliográfica (180 estudios). Por medio de esta, se intenta incorporar aquellos sesgos, que limitan la aplicación de clasificaciones previas, poniendo especial atención a la accesibilidad, o facilidad de aplicación del modelo; a la objetividad o capacidad del modelo, para incorporar propiedades urbanas posibles de medir y comparar; a la inclusión, o representación genérica de paisajes locales y a la normalización o coherencia de la representación de paisajes locales y sus propiedades, sin impedir con ello, su reconocimiento y aplicabilidad universal.

El modelo de Zonas Climáticas Termiales, de aquí en adelante ZCT, tiene como objetivo general, precisar la magnitud de las islas de calor. Su hipótesis en tanto, se basa en la idea, de que al interior de las ciudades y a escala local, es posible identificar zonas térmicamente homogéneas, que tienen directa relación con los grados de perturbación del paisaje y por tanto, con sus particularidades físicas y culturales. Todo ello, explicaría en su conjunto, la variabilidad espacio – tiempo e intensidad de las islas de calor urbanas.

El principio de diferenciación del modelo, viene dado por el grado de perturbación del paisaje (Ver figura N°5). Se diferencian de este modo, cuatro grandes clases: ciudad, agrícola, natural y mixta, las que se reclasifican en función de características específicas de la superficie, relacionadas con el clima del dosel, y que incluyen, rugosidad de la superficie, fracción de superficie impermeable, factor de visibilidad del cielo, admisión térmica, albedo y flujo de calor antropogénico. En base a lo anterior, se definen finalmente veinte zonas, que debiesen mostrar un comportamiento térmico similar. Nueve de ellas, forman parte de la clase ciudad; cuatro de la clase agrícola y cinco de la clase natural. Cabe mencionar, que los sitios que no califican para ser agrupados en las clases mencionadas, se definen como series o clases mixtas, y

están destinadas a dar una mejor representación, a los espacios de transición como son, asentamientos dispersos o de transición entre la ciudad propiamente tal y zonas no urbanizadas, o zonas de transición entre tierra y agua, como por ejemplo, las playas.

Figura N° 5: Principios de diferenciación utilizados para la clasificación de las Zonas Climáticas Termal.



Para representar las propiedades que afectan el clima urbano a escala local, los autores se remiten a algunos indicadores que permiten diferenciar cuantitativamente una zona termal de otra. Estos indicadores son: factor de visibilidad del cielo, porcentajes de superficie natural, impermeable y construida, relación entre el ancho y alto de los edificios, altura promedio de los mismos, rugosidad y flujo de calor antropogénico. Para cada uno de ellos, estiman un rango de valores, los cuales pueden ser extrapolados a diferentes unidades espaciales, por medio de una fotointerpretación de las zonas climáticas, realizada básicamente, en función de usos de suelo, localización esperada de cada zona en la ciudad y ciertas características

funcionales y físicas de la estructura urbana, como por ejemplo, la altura de los edificios, grados de impermeabilización del suelo, presencia de vegetación, intensidad del tráfico, distanciamiento entre estructuras etc.

Finalmente cabe mencionar, que las diferencias de los procesos que gobiernan el comportamiento de los parámetros meteorológicos, en las diferentes capas atmosféricas y unidades espaciales descritas, pone de manifiesto la importancia de prestar especial atención a la representatividad de las redes de observación utilizadas para su descripción, ya que muchos de los datos existentes, no son representativos de las condiciones climáticas urbanas, sobre todo cuando se analizan a escala del dosel (Mendonca & Lombardo, 2009; Oke, 2010).

2.6 Antecedentes del clima regional y urbano de Valparaíso.

Dentro de los estudios sobre clima a escala regional y urbana, que describen y analizan el contexto climático de la región y al interior de la ciudad, destacan:

El estudio solicitado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente, para conocer los posibles escenarios de variabilidad climática en Chile, asociadas a un cambio climático global. Realizado por el Departamento de Geofísica, de la Universidad de Chile en el año 2006, contempla un modelamiento a escala regional (resolución de 25 km.), de las condiciones climáticas actuales (1961 – 1990) y futuras (2071 – 2100), bajo los escenarios descritos por el Panel Intergubernamental sobre cambio climático (IPCC), B2 o escenario de emisiones y crecimiento demográfico moderado, con una mejora en términos de política ambiental y equidad social y A2, o escenario de emisiones y crecimiento poblacional rápido, con un estancamiento de las políticas ambientales y de equidad social.

A grandes rasgos, los resultados muestran una tendencia lineal de las precipitaciones entre 1930 y el año 2000, positiva hasta mediados de la década del 70, y negativa desde entonces a la actualidad. Esta tendencia se mantiene en las proyecciones hechas para finales de este siglo. Respecto a la temperatura, el estudio señala un calentamiento para todas las regiones del país, sobre todo bajo el escenario A2 en donde el cambio de sus valores promedio, varía entre 2 y 4°C en Chile continental, siendo el calentamiento superficial mayor en la estación de verano. Para el caso de la región de Valparaíso, se describen temperaturas superficiales de entre 18 y

24°C, pudiéndose esperar, bajo el escenario A2, un aumento de las mismas en el periodo comprendido entre los años 1971 – 2100, de 2 a 4°C y bajo el escenario B2, de 1 a 3°C.

Erazo, 2006, en tanto, analiza el comportamiento histórico y características de las temperaturas atmosféricas, en el contexto de clima regional, buscando alguna evidencia en los registros que den cuenta de un aumento de la temperatura asociado a un cambio climático. Se menciona la presencia de información meteorológica descriptiva recolectada por Vicuña Mackena, la cual indicaría, que entre los años 1520 a 1876, el clima de Chile Central, no habría mostrado cambios en los prácticamente 350 años que se investigan. Respecto al análisis de las temperaturas atmosféricas registradas en el Faro Punta Ángeles, entre los años 1950 y 2000, se concluye que no es posible establecer un aumento de la temperatura atmosférica regional, aún advirtiendo la presencia de muchos datos atípicos, debido a la falta de otras estaciones con registros históricos, así como por las características de las mismas, cuyos datos no pueden muchas veces, ser considerados como representativos de las condiciones climáticas de la región.

Respecto del estudio de la variabilidad térmica al interior de la ciudad, existen dos publicaciones. La primera, hace referencia a la variabilidad diaria y estacional, de las temperaturas atmosféricas y su relación con la condición socioeconómica de la población (Romero *et al*, 2008), mientras que la segunda, relaciona la variabilidad estacional de las temperaturas de emisión superficial en el área Metropolitana de Valparaíso, con diferentes factores explicativos (Sarricolea & Romero, 2009).

Los resultados presentados por Romero *et al* (2008), señalan la presencia de micro islas de calor durante la mañana, en áreas altamente urbanizadas como, Playa Ancha, plaza Sotomayor, inmediaciones de Av. Francia, cerro La Cruz, cerro Barón y parte alta del cerro Placeres. Se perfilan como micro islas frías en cambio, las inmediaciones de la Plaza de la Conquista en el cerro Placeres y de la Av. Argentina en el Plan. Destaca que desde Quebrada Verde, se expande una vasta masa de aire frío, la cual desciende hasta el Plan por Avenida Ecuador. Durante la tarde, esta distribución en general se mantiene, salvo en el cerro Placeres y Playa Ancha, donde comparativamente las temperaturas aparecen más templadas y en las inmediaciones de Av. Argentina, sector que pasa de isla fría a caliente. En la noche (20:00 hrs), se registra una isla de calor sobre el centro o Plan de la ciudad y las terrazas contiguas a este. Durante todo el día, destaca la presencia de temperaturas frías, que descienden por la quebrada Bellavista desde el sector de Quebrada Verde.

En invierno, en tanto, destaca el predominio de temperaturas bajas durante la mañana y tarde, sobre todo en las zonas más altas, tanto al Este como al Oeste de la ciudad, situándose las temperaturas más altas en focos aislados (cerros Artillería, Bellavista y La Cruz) durante la mañana, y en la parte superior de los cerros Monjitas, Cárcel y cercanías de la línea litoral, en el caso de la tarde. Durante la noche, se registra una amplia y consistente isla de calor que se distribuye desde la línea litoral hasta las terrazas de altura media.

La caracterización socioeconómica, por su parte, muestra que en Valparaíso reside de manera mayoritaria, población de estratos D y E, distribuyéndose esta última, en las laderas y terrazas más altas de Valparaíso. Respecto a la relación estadística entre distribución de temperaturas y condición socioeconómica de la población, se concluye que Valparaíso, escapa a lo observado en otras ciudades como Santiago, debido que la distribución de las temperaturas más bajas, no se relaciona con los niveles socioeconómicos más altos.

Sarricolea y Romero (2009), utilizan una regresión múltiple paso a paso, identificando la relación de las variables distancia al mar, elevación topográfica, exposición de laderas, presencia y estado de la vegetación (NDVI) y humedad y reflectividad del suelo, con las temperaturas de emisión superficial en la mañana. Los resultados muestran que es posible encontrar diferencias en el comportamiento de las temperaturas promedio, entre el área urbana del área Metropolitana de Valparaíso y su entorno rural, de hasta 4,4°C en verano y 2,8 °C en invierno y que al considerar los valores máximos urbanos y mínimos rurales, estas diferencias aumentan a 17,4 °C en verano y a 8,8°C en invierno. Respecto a su distribución, en verano Valparaíso muestra temperaturas bastante templadas en comparación con las comunas vecinas de Quilpué y Villa Alemana, situándose a grandes rasgos las zonas más calientes en la parte baja o Plan de la ciudad y sobre algunas terrazas intermedias, sobretudo en el sector Oeste. En invierno, las temperaturas más altas de la conurbación se posicionan sobre la línea litoral, Plan y terrazas de altura media de Valparaíso. Las variables que explican la distribución de las temperaturas en verano, son: la humedad del suelo, el brillo de la superficie y distancia al mar o fuentes húmedas. En invierno en cambio, toman mayor relevancia el brillo, la exposición de las laderas y la densidad de población.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.

Metodología general

El desarrollo de la investigación, ha sido abordado mediante el análisis de las temperaturas atmosféricas, verticalmente a escala del dosel y horizontalmente a escala local, definida esta última, por la mancha urbana de la ciudad. La representación espacial de las temperaturas, se ha obtenido mediante la interpolación de los datos. Las variables asociadas a la modificación del campo térmico, se identifican por medio de revisión bibliográfica y se espacializan por medio de fotointerpretación y uso de sistemas de información geográfica, específicamente ArcGis 10 e Idrisi TAIGA versión 16. El análisis explicativo del comportamiento horario y distribución espacial de las temperaturas, en tanto, se lleva a cabo utilizando estadística inferencial.

3.1 Análisis del comportamiento y distribución espacial de las temperaturas atmosféricas, en el área urbana de Valparaíso.

3.1.1 Recolección de datos de temperatura atmosférica y humedad relativa: Se han utilizado datos discretos de temperatura atmosférica, provenientes de registros obtenidos de 13 estaciones, 1 convencional y 12 automáticas. Las características generales de las estaciones, se describen en el Anexo N°1. Los intervalos entre registros, en la mayoría de las estaciones, fueron de 1 hora (menos en Punta Ángeles, en donde los datos son registrados cada 3 horas), y en la mayoría de ellas, fue posible obtener datos de humedad relativa en iguales intervalos de tiempo. Estos últimos fueron utilizados para el análisis de consistencia gráfica de las temperaturas. Las bases de datos, fueron adquiridas de manera gratuita, principalmente de laboratorios de investigación asociados a universidades, entre los cuales se encuentran, el Laboratorio de Medioambiente y Territorio (Labmyt) de la Universidad de Chile, el Laboratorio de Energía Solar de la Universidad Técnica Federico Santa María y la estación meteorológica del Departamento de Geografía de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Los datos de la estación Faro Punta Ángeles, fueron proporcionados por el Servicio Meteorológico de la Armada de Chile.

3.1.2 Control de calidad y homogenización de los datos: El proceso de control de calidad, se realizó mediante consultas al personal responsable, en torno a la

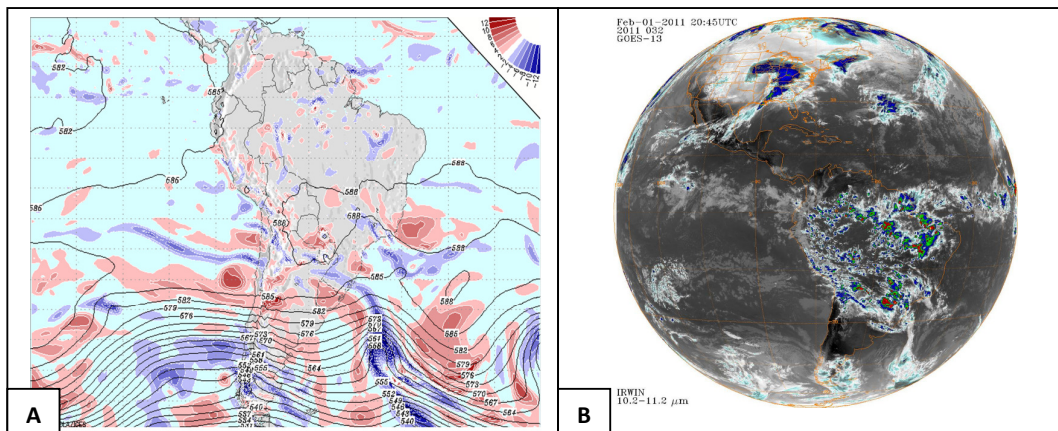
manipulación de instrumentos y archivos de datos, la continuidad del registro de los mismos y la calibración de los instrumentos. La única estación que mantenía metadatos, fue Punta Ángeles. En el caso de los sensores pertenecientes al Labmyt, la mayoría habían sido reemplazados y calibrados hace poco tiempo, los sensores de la PUCV y UTFSM, en tanto, son revisados de forma periódica por el mismo personal. Para la homogenización de series, se contrastó gráficamente el comportamiento anticíclico de la temperatura atmosférica con la humedad relativa, se utilizaron además, gráficos de caja, los cuales rápidamente dan cuenta de la concentración y variación de los datos. Para identificar cada caso particular, se utilizó el módulo de detección de anomalías del software IBM SPSS *Statistics* 19. Los gráficos en tanto, fueron elaborados utilizando la extensión XLSTAT2009 para *Microsoft Office Excel*. De un total de 15 estaciones se eliminaron dos; una por presentar gran discontinuidad en el registro de datos y la otra por presentar registros anómalos. En el caso de los datos, hubo que descartar aquellos registrados entre el 21 y 31 de Diciembre del 2010. Los datos atípicos, en tanto, fueron mantenidos en su totalidad, por considerarse que son objeto de análisis, propio de la variabilidad del comportamiento de las temperaturas atmosféricas, en áreas urbanas a escala del dosel.

3.1.3 Selección del día de interpolación: Se clasificaron los días de verano, en templados, cálidos y fríos, utilizando como referencia el límite inferior y superior del error típico de la media aritmética, de los promedios diarios de temperatura. Se consideró además, la fecha de la imagen de satélite disponible para el cálculo de la presencia y estado de la vegetación (6 de Febrero del 2011), así como las posibilidades de obtener información respecto de las condiciones sinópticas y meteorológicas prevaletes. El día finalmente seleccionado fue el 1 de Febrero del 2011.

3.1.4 Análisis de las condiciones sinópticas y meteorológicas prevaletes: Se analizaron las condiciones sinópticas y meteorológicas a lo largo del día 31 de enero, 1 y 2 de febrero, con el objetivo de identificar fenómenos meteorológicos significativos, que pudiesen corresponder a una situación anómala. Lo anterior se llevó a cabo mediante un Reanálisis a los 500 y 1000 hectopascales, facilitado por el Centro Nacional de Medioambiente (CENMA), en donde se describen la presencia de dorsales, centros de altas presiones, y vaguadas costeras a las 20:00 hrs (Figura N°6 - A). Adicionalmente se revisaron imágenes infrarrojo para las 3:00, 6:00, 9:00, 12:00.

15:00, 18:00 y 21:00 hrs UTC, del satélite GOES 13, proporcionadas por el Centro Nacional de Datos Climáticos (CNDG), del Departamento de Comercio de los Estados Unidos. (Figura N°6 - B) y se recopilaron datos de parámetros meteorológicos como velocidad y dirección del viento, precipitación y llovizna, todos proporcionados por el Servicio Meteorológico de la Armada de Chile.

Figura N° 6: Carta de presiones atmosféricas, a los 500 hPa e Imagen infrarrojo a las 21:00 UTC, del 1 de Febrero del 2011.



en la superficie. En este caso, los pesos están en función no sólo de la distancia a los vecinos, sino que también, de la relación espacial entre los puntos medidos (Morillo et al, 2002; Toro & Melo, 2009). El kriging ordinario, cuantifica la magnitud de la varianza para correlaciones bivariadas entre datos y su relación o correlación con la distancia que los separa (donde, a mayor similitud entre la distribución de los datos, menor es la varianza y viceversa), luego por medio de un gráfico llamado variograma, identifica distribuciones espaciales correlacionadas creando patrones espaciales de las mediciones de temperatura. Finalmente, se genera una función, que representa la mínima varianza de los errores, motivo por el cual se dice, que el error en la predicción del Kriging, es inferior al de otros interpoladores con menor complejidad de cálculo (Quevedo & Sánchez, 2009; Toro & Melo, 2009). Otros motivos por los cuales se utilizó, fueron su utilidad para identificar áreas homogéneas (Villatoro *et al*, 2008), y porque evita el efecto “*ojo de buey*” observado alrededor de algunos puntos cuando se utiliza, por ejemplo, el interpolador IDW (Stanley & Lorenzo, 2006).

3.2 Análisis de la distribución espacial de variables geográficas y urbanas, asociadas a la variabilidad de las temperaturas atmosféricas.

La investigación recoge variables explicativas que son significativas en el ámbito del clima urbano según la literatura, pero que además, dan cuenta de componentes naturales y artificiales que caracterizan la especificidad del paisaje de la ciudad y que por tanto, debieran estar estrechamente vinculados a la variabilidad de sus temperaturas atmosféricas y clima en general. Estas variables tienen relación con la orografía, la morfología urbana, la intensidad de los usos de suelo y la presencia de humedad en el aire. Los materiales utilizados fueron coberturas georeferenciadas, un mosaico de fotografías aéreas del año 2010, proporcionado por la Secretaría de Planificación y Transporte (SECTRA), y una imagen satelital Landsat TM del día 6 de Febrero del 2011; todos fueron procesados en los Sistemas de Información Geográfica, ArcGis 10 e Idrisi Taiga versión 16. A continuación se describe el procedimiento metodológico aplicado para la representación espacial de cada variable:

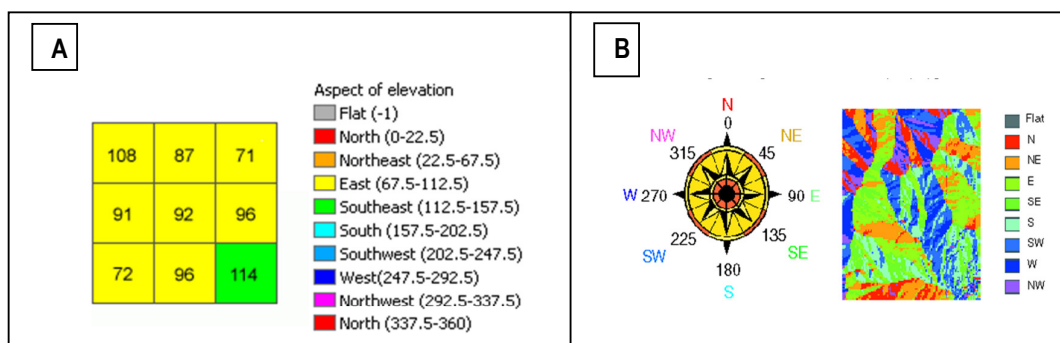
3.2.1 Distancia al mar: Se calculó la mínima distancia entre cada estación y la línea de costa, así como también, la distancia euclidiana para obtener valores continuos de las mismas.

3.2.2 Densidad de población: Se obtuvo la densidad de población por hectárea, considerando las manzanas censales definidas por el Instituto Nacional de Estadística. Se utilizaron, los datos del censo 2002, los que se procesaron en los programas REDATAM y ArcGis 10.

3.2.3 Elevación topográfica: Se utilizaron curvas de nivel proporcionadas por la Secretaría de Planificación y Transporte (SECTRA), con las cuales se elaboró una red irregular de triángulos (TIN), la que permitió obtener valores continuos de elevación.

3.2.4 Exposición de laderas: Utilizando la red irregular de triángulos (TIN), se asignaron valores en grados medidos en sentido horario, para cada ladera. Las figuras N°7-A y N°7-B, muestran cómo interpretar los valores asociados a cada píxel utilizando simbología por categorías.

Figura N° 7: Interpretación numérica y gráfica, de la exposición de laderas.



Fuente: Extraído de Tutorial ArcGis 10.

3.2.5 Presencia y estado de la vegetación: Se utilizó el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), el cual se calculó por medio del tratamiento de las bandas del rojo e infrarrojo cercano, de la imagen LANSAT TM, del 6 de febrero del 2011. El índice varía entre -1 y +1 según si la productividad es mínima (nula o baja captura de energía lumínica), o máxima (total utilización de la energía lumínica disponible).

3.2.6 Distancia a formaciones de vegetación densa: La distancia a formaciones de vegetación densa, se ha considerado de forma adicional a la presencia y estado de la

vegetación, debido a que da cuenta, no solo de la importancia del tamaño de los parches de vegetación en la presencia de humedad en el aire, sino que también, porque puede mostrar los efectos derivados de que grandes áreas de vegetación densa, se localicen justamente sobre grandes quebradas en la ciudad, situación que debería favorecer el transporte de masas de aire frío, sobre todo al término del día, horario en el cual, las brisas de tierra a mar comienzan a percibirse. Para su representación espacial, se realizó una fotointerpretación de las formaciones de vegetación densa a escala 1:5.000, sobre el fotomosaico proporcionado por SECTRA. Posteriormente, se calculó la distancia lineal desde las estaciones a ellas, así como la distancia euclidiana para obtener valores continuos.

3.2.7 Zonas Climáticas Termales: El modelo de Zonas Climáticas Termales de Stewart & Oke (2009), fue desarrollado con el objetivo de describir y estimar la magnitud de las islas de calor urbanas. No obstante a lo anterior, las zonificaciones que el modelo propone, dan cuenta de la relación existente entre variables asociadas al diseño urbano y la variabilidad de las temperaturas atmosféricas a escala del dosel, por lo que otorga conjuntamente, la posibilidad de identificar y analizar la participación de las variables que incorpora, en el contexto en que se enmarca el objetivo general de este trabajo.

Para su fotointerpretación se utilizó el fotomosaico del año 2010, elaborado y georeferenciado por la Secretaría de Planificación y Transporte (SECTRA). El software de soporte fue Arcgis 10 y la escala de análisis, 1:5.000. Cabe mencionar que se incorporaron tres zonas, teniendo como referencia, la adaptación hecha al modelo por Irrázabal, 2010. En el Anexo N°2, es posible observar una breve descripción y ejemplo gráfico, de las características asignadas a cada una de las ZCT, que orientaron la fotointerpretación de las mismas.

3.3 Análisis explicativo del comportamiento y distribución espacial de las temperaturas atmosféricas.

Se utiliza una regresión lineal múltiple, debido a que facilita el estudio de procesos complejos, en donde el análisis explicativo de relaciones causales, involucra la participación de diversas variables que deben ser consideradas de manera conjunta.

Los datos asociados a las variables, fueron procesados y analizados por medio de los programas estadísticos XLSTAT 2009 y SPSS *Statistics* versión 19.

3.3.1 Análisis de la correlación entre temperaturas atmosféricas y variables geográficas y urbanas:

Se utilizaron las correlaciones de Pearson y Spearman, previo análisis de la normalidad de los datos.

-Análisis de normalidad de los datos: Los datos se consideran normales, cuando su comportamiento es frecuente de acuerdo a un modelo matemático teórico, que diferencia lo frecuente de lo extraño. Estadísticamente, se considera que los datos son normales si la distribución de la población de la cual han sido extraídos, se aproxima a la distribución teórica normal (campana de Gauss). Desde una muestra con población normal, se puede obtener información adicional de las mismas, por medio del cálculo de parámetros estadísticos como son la media, mediana, varianza, desviación estándar etc., estadísticos que no son posibles de obtener con muestras de distribución desconocida a menos que se “*parametricen*” por medio de métodos asociados a la estadística no paramétrica.

La propiedad de normalidad se contrastó por métodos gráficos y contrastes de hipótesis. Los métodos gráficos utilizados fueron gráficos cuantil – cuantil e histogramas, los contrastes aplicados en tanto, pruebas de hipótesis (Shapiro – Wilks y Kolmogorov – Smirnov).

-Análisis de la correlación bivariada entre temperaturas atmosféricas y variables estudiadas: La correlación evalúa la asociación entre dos variables, tanto en términos de dirección como intensidad. Proporciona un índice, denominado Coeficiente de Correlación, que oscila entre 1 y -1, en donde el signo es coincidente con la pendiente de la recta y cuya magnitud está relacionada con el grado de dependencia lineal entre las variables. Mientras el Coeficiente de Correlación de Pearson se utiliza para muestras paramétricas, el Coeficiente Rho de Spearman, se utiliza para muestras no paramétricas, siendo la normalidad o no normalidad de los datos, el factor condicionante para aplicar uno u otro. La tabla N° 4, muestra como ha sido interpretada la fuerza y sentido de la relación existente entre variables, en el caso de ambos coeficientes.

Las Zonas Climáticas Termales, fueron representadas en las bases de datos, utilizando los valores promedio, que definen las propiedades de las variables urbanas que los autores incorporan en el modelo.

Tabla N° 4 : Interpretación de fuerza y sentido de las correlaciones entre variables dadas por los coeficientes r de Pearson y Rho de Spearman.

Valor del coeficiente	Interpretación de fuerza y sentido de la correlación.
-1	Correlación negativa perfecta
-0,9	Correlación negativa muy fuerte.
-0,75	Correlación negativa considerable.
-0,5	Correlación negativa media.
-0,1	Correlación negativa débil.
0	No existe correlación entre las variables.
0,1	Correlación positiva débil.
0,5	Correlación positiva media.
0,75	Correlación positiva considerable.
0,9	Correlación positiva muy fuerte.
1	Correlación positiva perfecta

Fuente: Elaboración propia en base a Marín, C. 2004.

3.3.2 Modelos explicativos del comportamiento y distribución espacial de las temperaturas atmosféricas: Se utilizó una regresión lineal múltiple por mínimos cuadrados ordinarios, la cual se define como un modelo matemático, representado e interpretado, por medio de la siguiente ecuación:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon$$

En donde, la variable dependiente, es una combinación lineal de un conjunto de K variables independientes, cada una de las cuales va acompañada de un coeficiente β , que indica el peso relativo que alcanza cada una de ellas en la ecuación, más el error de la estimación o residuos ε (varianza no explicada) y β_0 , que denota el origen de la recta de regresión, o punto donde la recta corta al eje de las ordenadas. Aplicando esta fórmula, se obtiene una función de error mínimo, debido a que la recta que la representa, se define por las mínimas diferencias o distancias entre los valores observados y los valores pronosticados (las distancias se elevan al cuadrado porque de lo contrario, al ser unas positivas y otras negativas se anularían al sumarlas unas con otras). En base a lo anterior, es que se dice que la ecuación resultante, es la mejor

expresión de la relación matemática entre variable dependiente e independientes consideradas conjuntamente.

Cabe mencionar, que los modelos generados a partir de una regresión lineal, requieren como su nombre lo indica, que las variables explicativas se relacionen linealmente con la variable a explicar. Cuando las muestras son pequeñas, como es el caso, muchas veces es difícil precisar gráficamente que la relación entre variables es lineal. Considerando aquello, se utilizó en el análisis la prueba t, la cual permite, entre otras cosas, descartar estadísticamente relaciones no lineales.

Se realizaron modelos de regresión para las temperaturas registradas a las 9:00, 12:00, 15:00, 18:00 y 21:00 hrs, incluyendo en ellos, las variables que mostraron estar al menos, medianamente relacionadas con las temperaturas y que no mostraban problemas de colinealidad.

3.3.3 Análisis de la capacidad explicativa de los modelos: Para conocer, que porcentaje de la variación de la temperatura atmosférica, es explicada por la o las variables incorporadas en cada modelo, se utilizaron los Coeficientes que se describen a continuación:

- Coeficiente de determinación R^2 : Definido como el cuadrado del Coeficiente de Correlación Múltiple, es una medida estandarizada que toma valores entre 0 y 1 dependiendo del grado de ajuste de la recta de regresión a la nube de puntos en un diagrama de dispersión. Por medio de esta medida, es posible conocer la proporción de varianza de la temperatura, que está explicada por la o las variables independientes. Matemáticamente se define por la siguiente expresión:

$$R^2 = \frac{1 - \text{Suma de cuadrados de los residuos}}{\text{Suma de los cuadrados totales.}}$$

- Coeficiente R^2 Corregido: Corresponde a la corrección del Coeficiente de determinación. Se utiliza porque R^2 aumenta artificialmente con la introducción de nuevas variables, sobre todo si las muestras son pequeñas. Su cálculo está dado por la fórmula:

$$R^2 \text{ Corregido} = R^2 - (p(1 - R^2)/(n - p - 1))$$

Donde p, es el número de variables independientes y n el número de muestras.

3.3.4 Análisis de la capacidad predictiva de los modelos: El método de mínimos cuadrados ordinarios, se centra en establecer relaciones y lograr la máxima explicación de un proceso, dado los datos utilizados. Tiene la ventaja frente a otros métodos, de que la recta de regresión que genera, pasa en promedio por el lugar más cercano a todos los datos de las muestras usadas, definiendo así el intercepto y la pendiente más idóneos, que minimizan el error de estimación propio de un proceso aleatorio. Sin embargo, es importante considerar, que su capacidad para establecer relaciones y su propiedad de minimizar el error cuadrático, no implica que la varianza no explicada sea pequeña, ni que la bondad de ajuste sea la mejor, tampoco garantiza una relación real o de significancia estadística entre las variables, ni que se cumplan los supuestos que especifican el modo en que se obtienen los valores de las variables independientes y errores asociados. Considerando lo anterior, la estimación es una consecuencia a aprovechar de esta metodología, solo si logra comprobar que las relaciones definidas por el o los modelos, no corresponden a relaciones determinantes, concomitantes, o que puedan ser producto de la casualidad, o de problemas de especificación en general. En razón a lo anterior, se evalúa la capacidad de los modelos de explicar no solo la variabilidad de las muestras, sino que también, la variabilidad de la población. Para ello, se ha considerado el error típico de las estimaciones, se realizaron pruebas de hipótesis para evaluar la varianza y se contrastaron los supuestos de normalidad, linealidad, homocedasticidad, independencia y colinealidad del modelo. Este procedimiento se describe a continuación:

- Error típico de la estimación: Es la desviación típica de los residuos, respecto de los pronósticos efectuados con la recta de regresión y da cuenta del error propio que se produce al estimar la media poblacional a partir de medias muestrales. Disminuye conforme aumenta el tamaño de la muestra. Su cálculo viene dado por la fórmula:

$$\text{Error típico de la estimación: } \sqrt{\frac{\sum e^2}{n}}$$

Donde e , representa los errores y n el tamaño muestral.

- Análisis de Varianza (ANOVA) utilizando la prueba F: El análisis de varianza, se basa en que la variabilidad total de la muestra, puede descomponerse entre la variabilidad explicada por la regresión y la variabilidad de los residuos. Ello se hace por medio de un contraste de hipótesis en donde la hipótesis alternativa, afirma que los coeficientes (β) en conjunto, obtenidos en la regresión múltiple, son significativamente distintos de cero, y que por lo tanto, las variables son relevantes en la ecuación de regresión (un coeficiente 0 indica ausencia de relación lineal). Su aplicación requiere de una distribución normal en los datos que representan a la variable dependiente y homocedasticidad de varianzas. Se determina mediante la comparación entre el p-valor de F, con el nivel de significancia o valor crítico, dado por el cálculo de los grados de libertad, para un 5% de probabilidad de error en la tabla de distribución de Fisher – Snedecor. La fórmula que representa el contraste de varianzas en la siguiente:

$$F = \frac{\text{Suma de cuadrados de los valores de cada muestra}}{\text{Suma de cuadrados residuales (entre muestras)}}$$

Cada suma de cuadrados viene a representar las varianzas al interior de ambos grupos, es decir, la varianza que se da entre los valores de cada muestra (numerador), así como la varianza que se da entre los valores totales o entre muestras (denominador). De esta forma, F, es la razón entre ambas varianzas y su interpretación viene dada por la relación entre ambas. Si el numerador es mayor que el denominador, se concluye que existen variaciones en las temperaturas asociadas a la acción conjunta de las variables independientes. En el caso de que el numerador sea menor o igual, se concluye que las variables introducidas no tienen relación con la modificación de las temperaturas y que por lo tanto, la regresión no es significativa.

El valor crítico en tanto, para un 0,05% de probabilidad de error, se calcula utilizando la tabla de distribución de Fisher – Snedecor, la cual contiene valores establecidos que

dependen del nivel de significancia que se le quiera dar a una prueba (usualmente de 95%), así como también, de los grados de libertad, definidos por el número de muestras menos 1 en el caso del numerador y por el número total de datos, menos el número de muestras, para el caso del denominador. Para considerar una regresión como significativa, el valor de F, debe ser mayor que el valor crítico.

- Prueba de significancia de las variables independientes (prueba t): Esta prueba, se utiliza para determinar el peso de cada una de las variables ingresadas en los modelos de regresión. Se basa en la distribución t de Student y al igual que la prueba F, contrasta la hipótesis alternativa que afirma que los coeficientes (β), asociados a cada variable, son significativamente distintos de cero, y que por lo tanto, son relevantes en la ecuación de regresión. Adicionalmente se utiliza para identificar relaciones no lineales. Cuando el valor de t no es significativo, se está dando cuenta de la ausencia de una relación clara de tipo lineal.

La diferencia entre la prueba F y la prueba t, es que la primera, busca confirmar que las variables en conjunto son significativas, mientras que la prueba t, busca determinar la significancia de cada variable por separado. Analizar ambas pruebas en conjunto, es importante porque permite mejorar las ecuaciones, aislando las variables independientes que puedan estar dando estimadores sesgados al no ser realmente significativas o al ser posiblemente significativas pero no lineales.

La interpretación de la relación entre los resultados obtenidos por la prueba F y t, se hizo considerando las sugerencias de Palomo (2011), las cuales se exponen a continuación.

Tabla Nº 5: Conjunto de casos posibles, al realizar la prueba F y los contrastes por cada variable independiente (prueba t), en una regresión múltiple.

Caso	Resultado prueba F	Contrastes individuales, Prueba t
1	Regresión significativa	Todas las variables independientes son significativas
2	Regresión significativa	Alguna variable independiente es significativa
3	Regresión significativa	Ninguna variable independiente es significativa
4	Regresión no significativa	Todas las variables independientes son significativas
5	Regresión no significativa	Alguna variable independiente es significativa
6	Regresión no significativa	Ninguna variable independiente es significativa

Fuente: Elaboración propia en base a Palomo, 2011.

- ✓ Caso 1: Todas las variables explican significativamente la variabilidad de las temperaturas por lo que el modelo se mantiene.

- ✓ Caso 2: Hay una o más variables que explican la variabilidad de las temperaturas, por lo que el modelo se puede mejorar eliminando las variables no significativas.
- ✓ Caso 3, 4 y 5: Estos casos se dan por problemas de multicolinealidad, los cuales se generan cuando todas o algunas de las variables independientes, están fuertemente correlacionadas. Para evitar que en los modelos resultantes, se dieran los casos 3, 4 y 5, se seleccionaron a partir de la matriz de correlaciones, sólo aquellas variables que no mostraron tener una fuerte multicolinealidad. En los casos en que hubo multicolinealidad sólo entre dos variables consideradas ambas relevantes, se le dio prioridad a aquella que mostró mayor correlación con las temperaturas atmosféricas.
- ✓ Caso 6: Ninguna variable independiente influye en la variabilidad espacial y temporal de las temperaturas, por lo que se descarta el uso del modelo.

- Normalidad: La distribución de los residuos debe tender a la normalidad, pues el valor esperado promedio de muestras repetidas, es igual al promedio de la población y adquiere una distribución normal. Se verifica por métodos gráficos y pruebas estadísticas. En este caso se han generado gráficos de residuales tipificados. (Fig. N° 8 - A)

- Linealidad: Los coeficientes obtenidos son combinaciones lineales de los datos que representan tanto a la variable dependiente como a las independientes. Si estos coeficientes son representativos del comportamiento de la población, los residuos o parte no explicada de la varianza de la temperatura, deben mostrar también una relación de tipo lineal. Para su análisis, se utilizaron gráficos de regresión parcial (Fig. N° 8- B), los cuales permiten ver la relación entre la variable dependiente y cada una de las variables independientes por separado.

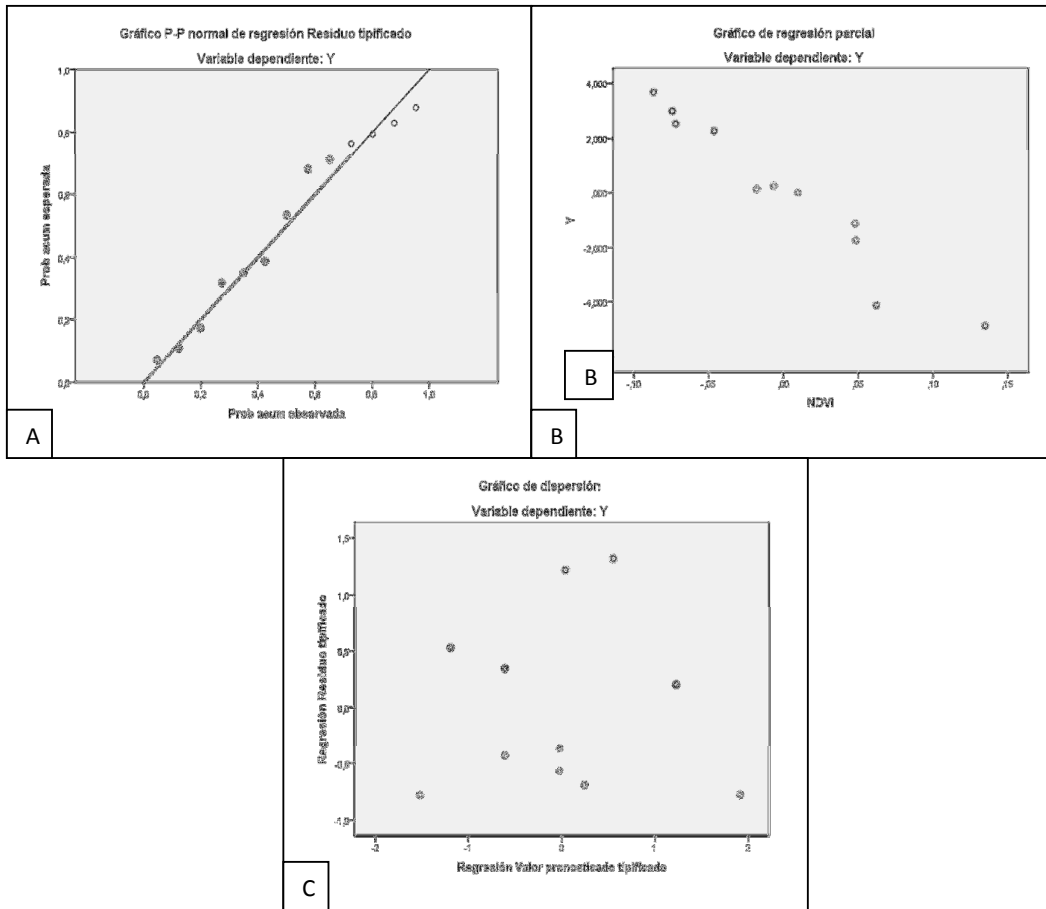
- Homocedasticidad: Se espera que los datos de las muestras provenientes de una población, tengan similar varianza, o que su variación alrededor de la línea de regresión sea en promedio la misma, independientemente de cómo varían los valores de la o las variables independientes. Consecuentemente, el tamaño de los residuos debería ser independiente al tamaño de los pronósticos. Ello puede observarse por medio de diagramas de dispersión de residuos tipificados, los cuales muestran cuan asociados están los residuos y los pronósticos. Lo que se espera, es que no haya ninguna asociación entre ambos, es decir, que en el gráfico, los residuos se dispersen homogéneamente (Fig. N°8 - C).

- Independencia: No debe haber correlación entre los residuos si es que los modelos han sido bien especificados, pues el que lo estén, significa que la variable dependiente no solo depende de las variables independientes incorporadas, sino que también de los errores. El estadístico Durbin – Watson, proporciona información acerca del grado de independencia existente entre ellos. Este estadístico oscila entre 0 y 4 y toma el valor de 2, cuando los residuos son independientes. Si se acerca a 4, se evidencia una autocorrelación negativa, mientras que si se aproxima a 0 una autocorrelación positiva. Usualmente se considera que si los residuos oscilan entre 1,5 y 2,5, existe independencia entre los mismos.

- No colinealidad: Como ya se mencionó, la colinealidad tiene que ver con el grado de relación o correlación entre las variables independientes. Cuando hay colinealidad, aumenta el tamaño de los residuos, lo que genera coeficientes beta inestables o altamente sensibles en su magnitud y signo, a pequeñas modificaciones en las muestras utilizadas (por ejemplo al sacar o incluir datos). Una forma de identificarla, es por medio del contraste entre la tolerancia y factor de inflación de la varianza (FIV). La primera es una medida de la proporción de la varianza de una variable dependiente, que no depende del resto de las variables incluidas en la ecuación. Cuando la tolerancia es baja, significa que esa variable comparte con el resto de las variables independientes, un alto porcentaje de su varianza y que por lo tanto, es redundante, ya que puede ser explicada por la combinación lineal de las otras. El factor de inflación de la varianza en tanto, plantea y cuantifica la situación inversa, es decir, a mayor factor de inflación de la varianza, mayor es la inflación del correspondiente coeficiente beta asociado a una variable. La diferencia entre los valores de ambas medidas, debe ser idealmente baja.

Es importante mencionar, que cuando los resultados de las pruebas descritas y del contraste de los supuestos, no son satisfactorios, se recomienda que no se extrapolen los resultados más allá de los rangos de valores que han definido a las muestras de las variables independientes, que los modelos se reconstruyan a partir de la selección de una nueva muestra aleatoria o incremento de la original, o que las conclusiones sean consideradas referenciales.

Figura N° 8: Gráficos para contrastar normalidad, linealidad y homocedasticidad.



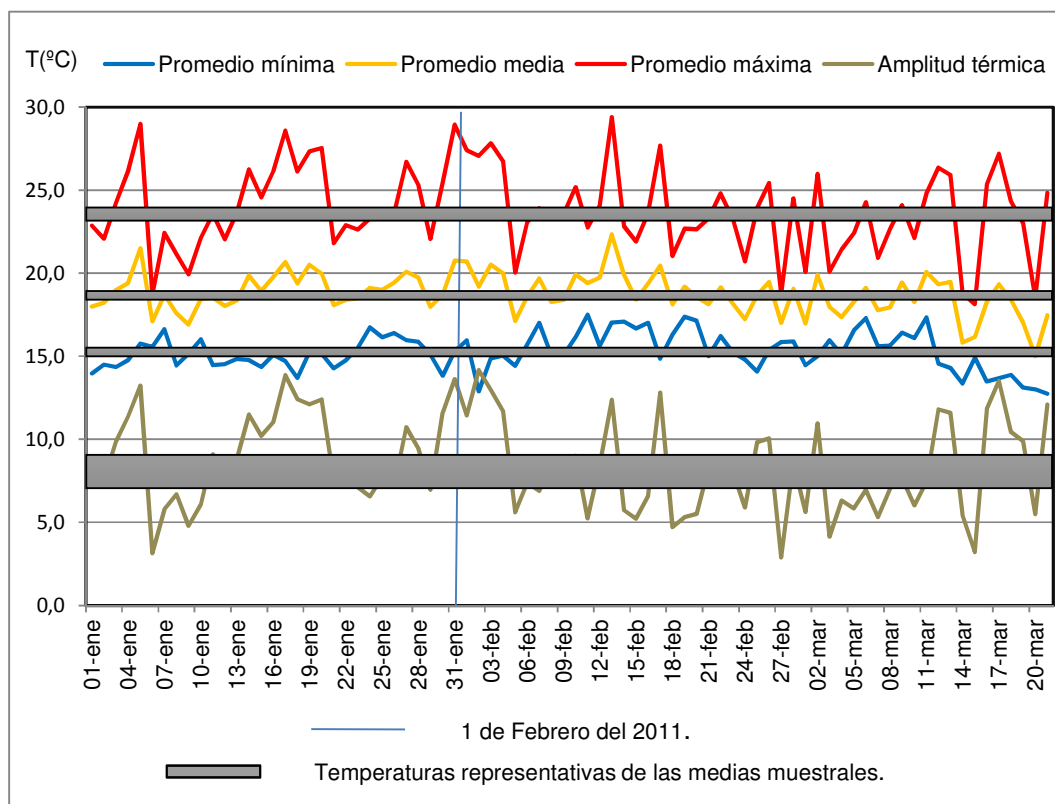
Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 Comportamiento y distribución espacial de las temperaturas atmosféricas.

Del total de días analizados, se identificaron diez como representativos de la temperatura media estival y 35 a ser considerados como días cálidos y fríos de verano, los que representan cada uno, el 43,75% del total. Como se observa en la figura N°9, el 1 de Febrero es representativo de aquellos días con amplitudes térmicas diarias altas, que superan el error típico de la media muestral, asociado a la temperatura máxima y media promedio, pero que mantienen un comportamiento de la mínima, acorde al promedio de la estación.

Figura N° 9: Comportamiento de la temperatura mínima, media, máxima y amplitud térmica promedio, desde el 1 de Enero al 21 de marzo del 2011.

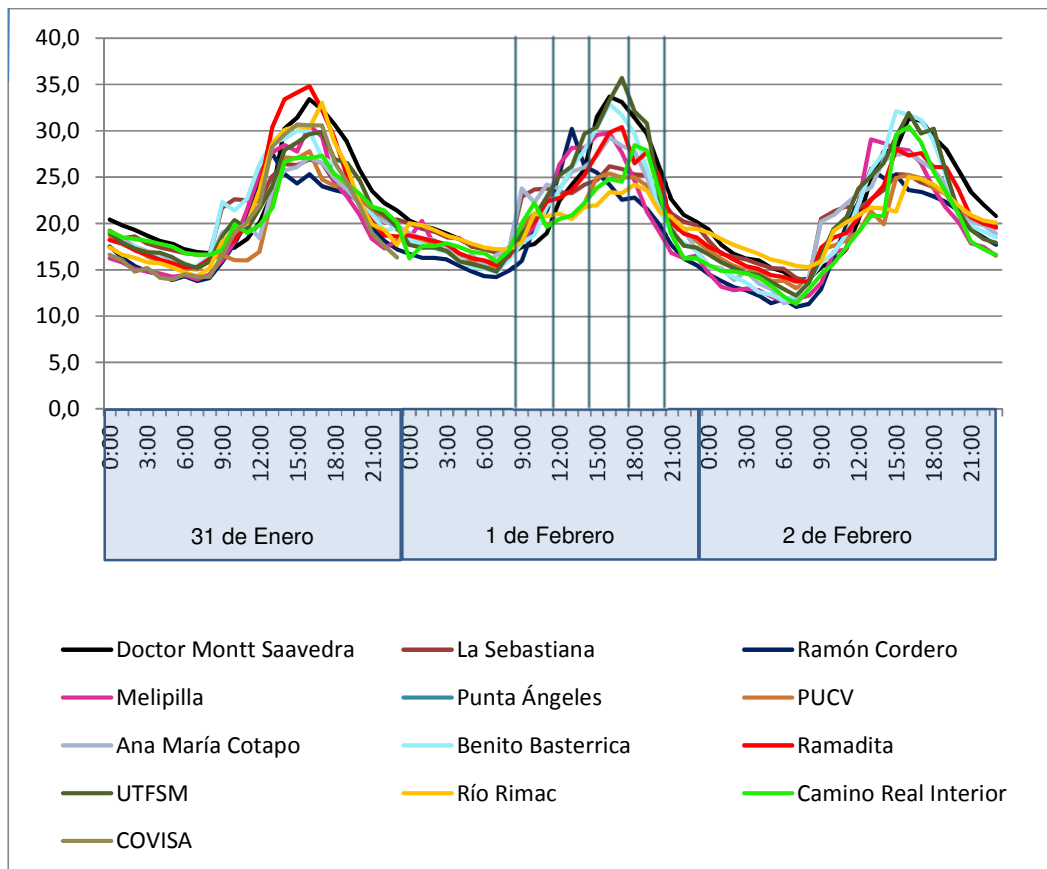


Fuente: Elaboración propia.

Cabe mencionar que para el caso del análisis de las temperaturas urbanas medidas a escala del dosel, los valores alejados de la media, no reflejan necesariamente la

presencia de días anormalmente calurosos o fríos, ya que las medias muestrales siempre toman valores moderados. Por tanto, constituyen una síntesis de las condiciones térmicas asociadas a un lugar, pero como se muestra en color gris sobre el gráfico, no son representativas del ambiente térmico que perciben las personas dentro de la ciudad, en general durante la estación, el cual se caracteriza por ser a la escala trabajada muy diferente desde un punto a otro de la ciudad, tal como lo muestra la oscilación térmica registrada por las distintas estaciones (Figura N°10).

Figura N° 10: Oscilación térmica registrada durante los días, 31 de Enero, 1 y 2 de Febrero, del año 2011.



Fuente: Elaboración propia.

Los datos de temperatura atmosférica, fueron registrados bajo condiciones sinópticas normales de un día de verano, sin la presencia de fenómenos meteorológicos significativos (Tabla N° 6). La velocidad media del viento, fue de 16,7 km/h, superior a la media anual, tal como la Dirección Meteorológica de Chile señala que ocurre en

verano. Se registró en promedio un 62,5% de humedad relativa del aire y no hubo niebla ni precipitaciones. Es preciso mencionar, que durante el verano analizado, se estaba en presencia del Fenómeno La Niña, el cual cubre con aguas frías las zonas costeras, aumentando la estratificación y estabilidad de la atmósfera, lo que impide la formación de nubes y precipitaciones. La Niña fue registrada a partir de junio del 2010 y perduró durante el año 2011. Consecuentemente, las mediciones de temperatura, fueran hechas durante un verano precedido por un invierno que registró precipitaciones por debajo de la media anual esperada (372,5mm). De acuerdo a los datos proporcionados por el Servicio Meteorológico de la Armada (estación Faro Punta Ángeles), durante el 2010 y el 2011, la precipitación media anual fue de 211,6 y 292 mm respectivamente. La tabla N°7, resume el registro de anomalías térmicas para tres trimestres móviles consecutivos en los años 2009, 2010 y 2011. En ella, se muestra con color rojo, la presencia de El Niño y con azul, anomalías térmicas negativas asociadas a La Niña. Los registros menores a + 0,5°C y mayores a -0,5° C representan episodios neutros. La normal climatológica utilizada como periodo de referencia abarcó desde el año 1971 al 2000.

Tabla N° 6 : Resumen de las condiciones meteorológicas a escala sinóptica observadas en Valparaíso, durante los días 31 de enero, 1 y 2 de febrero.

Fecha	A los 500 hPa	A los 1000 hPa	Nubosidad
31/01/2011	Margen anticiclónico. Vaguada costera débil.	Paso de vaguada débil. Aproximación de dorsal de escasa curvatura.	Delgada capa de estratos disipándose en borde costero, interior despejado.
1/02/2011	Margen anticiclónico.	Paso de dorsal de escasa curvatura.	Costa e interior despejados.
2/02/2011	Margen anticiclónico.	Lenta aproximación de vaguada.	Costa e interior despejados.

Fuente: Elaboración propia en base a información recibida de CENMA, 2011.

Tabla N° 7 : Anomalías en las temperatura superficial del mar, en el Pacífico Ecuatorial Central, cada tres trimestres móviles consecutivos.

AÑO	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDE
2009	-0,8	-0,7	-0,5	-0,2	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	1,1	1,4	1,6
2010	1,6	1,3	1	0,6	0,1	-0,4	-0,9	-1,2	-1,4	-1,5	-1,5	-1,5
2011	-1,4	-1,2	-0,9	-0,6	-0,3	-0,2	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1	-1

Fuente: Climate Prediction Center - National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), U.S.A

La variabilidad horaria de la temperatura durante el 1 de Febrero, muestra un aumento paulatino en sus registros en promedio de 1,5 (en el caso de las mínimas) y 2,3 °C (en el caso de las máximas) cada tres horas. En el caso de las temperaturas más elevadas, se observa que su comportamiento durante la mañana y noche es muy similar, mostrando su mayor variabilidad entre las 9:00 y 12:00 y las 18:00 y 21:00 hrs. En el caso del primer intervalo, el aumento de la mínima es de sólo 0,1 °C, y el de la máxima de 3,1°C; en el caso del segundo, la mínima desciende 2,8 °C, mientras que la máxima lo hace en 8,3°C. El registro más alto se da a las 18:00 hrs y en general, se observa que la variabilidad de las temperaturas más elevadas es mayor al de las temperaturas más bajas. La diferencia en los registros, en distintas áreas de la ciudad durante un mismo horario, es alta a excepción de la noche, y rodean los 11 °C durante las horas de mayor insolación (12:00; 15:00 y 18:00 hrs).

En cuanto a la distribución espacial de las temperaturas, se observa que aquellas medianamente bajas y bajas, cubren determinados sectores de la ciudad, que tienden a ser los mismos a excepción de algunas variaciones durante la mañana y noche. Hasta el mediodía las temperaturas de intensidad media dominan gran parte de Valparaíso, pero a las 15:00 hrs, ya se identifica una gran meseta térmica que da cuenta de una ciudad homogénea y predominantemente caliente. Durante la noche en tanto, se configura una isla de calor nocturna, en la cual la isoterma central se abre en dirección al mar siguiendo la trayectoria de la línea de costa.

El análisis del comportamiento y distribución de las temperaturas según horarios, se detalla a continuación:

4.1.1 Comportamiento y distribución de las temperaturas a las 9:00 hrs.

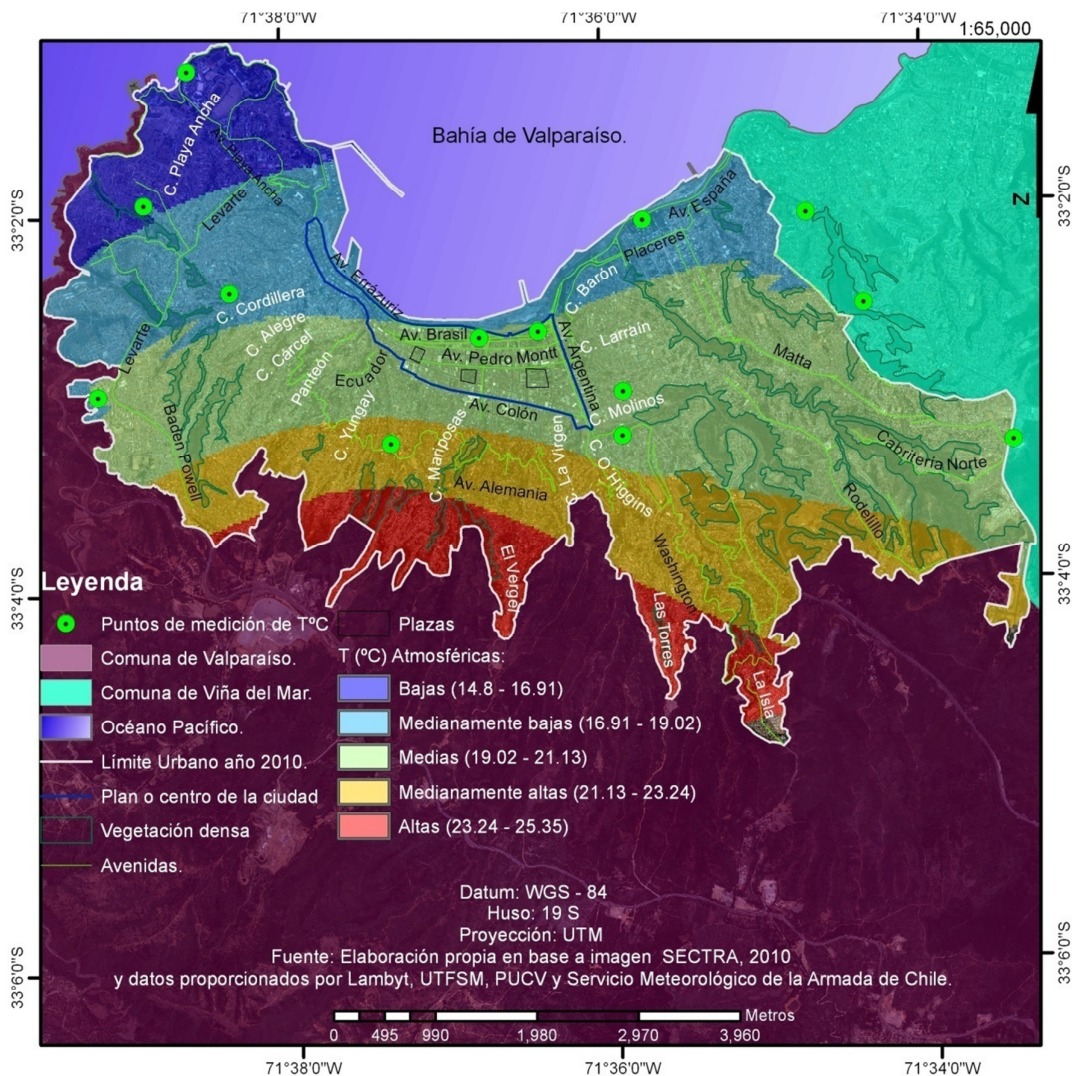
La diferencia entre las temperaturas más y menos elevadas al interior de la ciudad en este horario, alcanza los 10,5°C. Como se observa en la Figura N°11, las temperaturas bajas (de 14,8 a 16,9 °C) y medianamente bajas (16,9 a 19 °C), se perfilan a lo largo de la línea de costa. De oriente a poniente, se distribuyen sobre las zonas próximas a Av. España, a los cerros Placeres y Barón y se perfilan por el sector del puerto, expandiéndose finalmente hacia el poniente, sobre los Cerros Cordillera y Playa Ancha. Comparativamente, éste último, es más frío en su área norponiente que suroriente.

Las temperaturas medianamente altas y altas en tanto (entre 20,2 y 23,8°C), se sitúan sobre el área sur de la ciudad, coincidentes con las mayores alturas topográficas y colindantes con áreas no urbanizadas cubiertas con vegetación densa y dispersa. Destacan como zonas especialmente cálidas, La isla, Las Torres y El Vergel.

Los alrededores de la quebrada Yolanda, casi la totalidad del centro o Plan, los cerros Panteón, Cárcel y Alegre y el sector de Baden Powell o Montedónico en Playa Ancha, registran comparativamente valores medios de temperatura, los cuales oscilan entre 19 y 21 °C.

El norte de la ciudad, es gradualmente más frío que el sur, no se distinguen islas o micro islas de calor o frío y en general, la variabilidad espacial de las temperaturas es baja.

Figura N° 11: Distribución de temperaturas atmosféricas a las 9:00hrs.



Fuente: Elaboración propia.

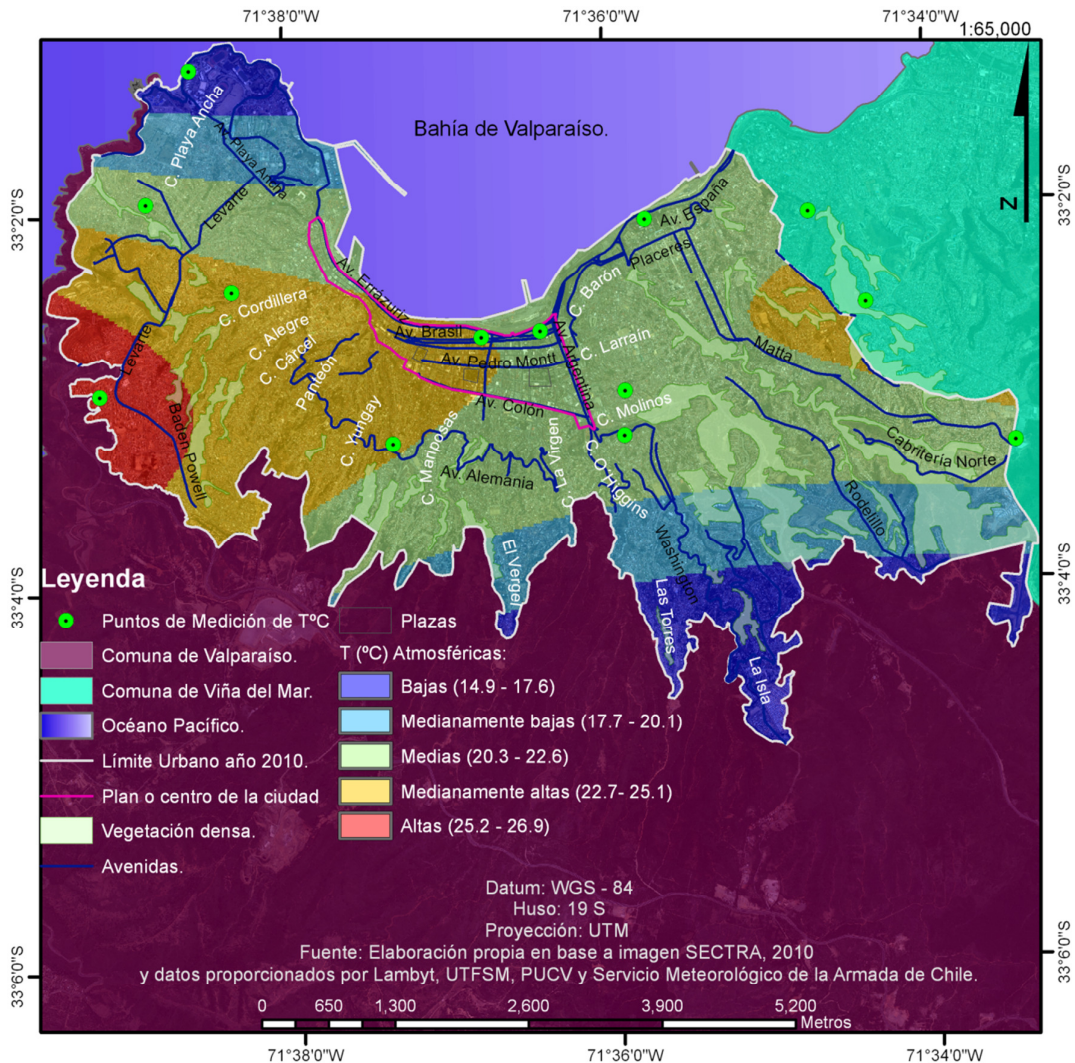
4.1.2 Comportamiento y distribución de las temperaturas a las 12:00 hrs.

La diferencia entre las temperaturas más y menos elevadas alcanza los 11,4°C, aumentando las más bajas solo en 0,1 y las más altas en 1,6 °C. Como se observa en la figura N°12, las temperaturas bajas y medianamente bajas (entre 14,9 y 20,1 °C), se concentran en el sector norte del cerro Playa Ancha (barrio universitario), y el suroriente de la ciudad (El Vergel, Las Torres, La Isla, Rodelillo y Aeropuerto).

Las temperaturas altas y medianamente altas (entre 22,7 y 26,9°C), se trasladan hacia el poniente, cubriendo el Plan desde Avenida Bellavista hasta las cercanías de la Plaza Sotomayor. El área presente entre los cerros Bellavista y Cordillera y el sector alto de Playa Ancha, es donde se concentran las temperaturas más altas. En el sector oriente, en tanto, sobre el cerro Esperanza, se observa un área comparativamente más cálida, que se proyecta hacia Viña del Mar.

El resto de la ciudad mantiene temperaturas que oscilan entre los 20,3 y 22,6 °C, y que cubren gran parte del sector oriente, incluidos el Plan y alrededores de Avenida Alemania. Si bien, las temperaturas más cálidas y más frías se sitúan sobre áreas bien definidas, estas no constituyen núcleos o micro islas de calor o frío, en sí.

Figura N° 12: Distribución de temperaturas atmosféricas a las 12:00hrs.



Fuente: Elaboración propia.

4.1.3 Comportamiento y distribución de las temperaturas a las 15:00 hrs.

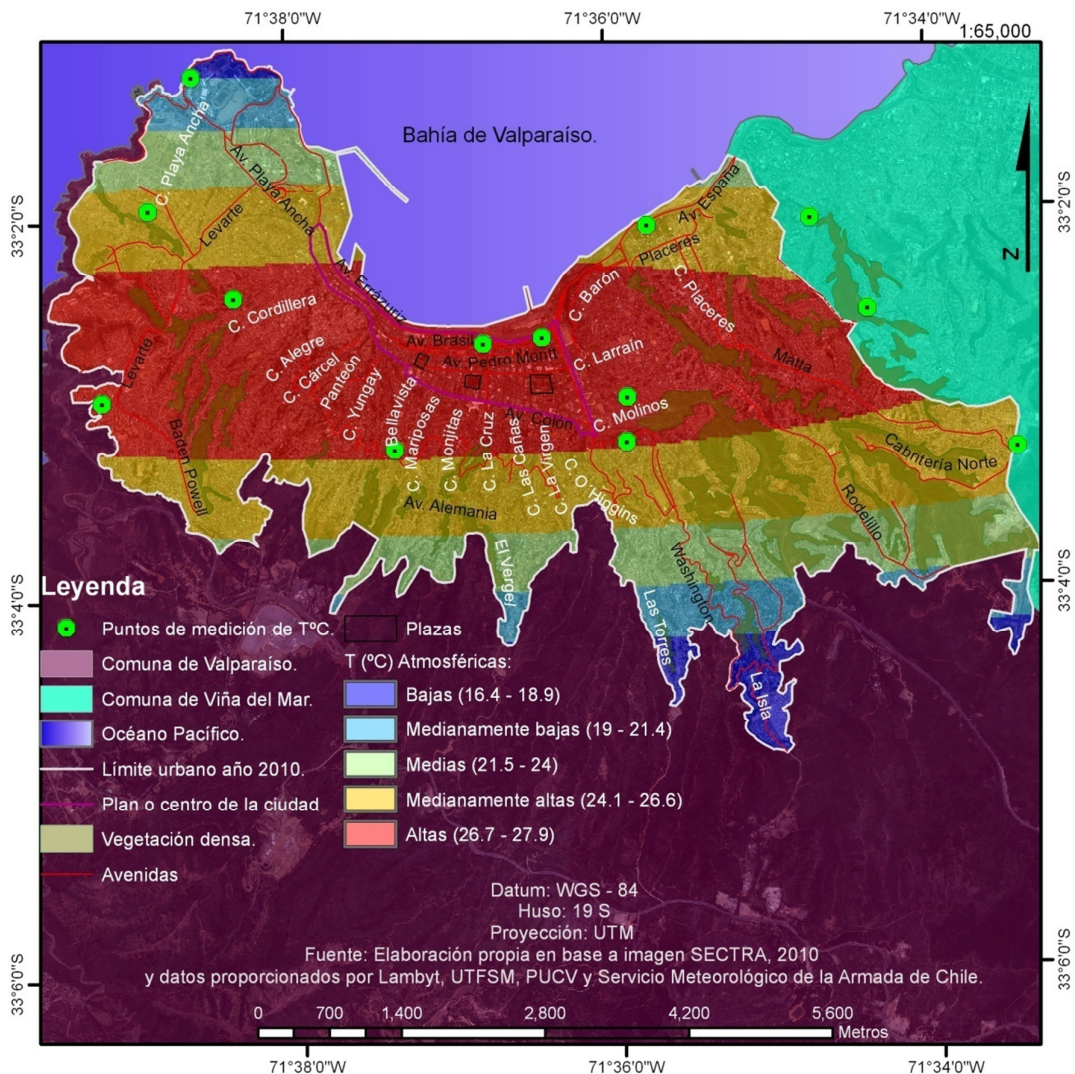
A las 15:00 hrs, (Figura N°13), La diferencia entre las temperaturas más y menos elevadas llega a los 11, 5°C, aumentando las más bajas respecto a las 12:00 hrs en 1,5 y las más altas en 1 °C. El extremo norte del cerro Playa Ancha y los sectores de Las Torres, La Isla y aeropuerto, al sur, mantienen su condición de área fría al interior de Valparaíso, fluctuando sus temperaturas entre 16,4 y 21,4 °C.

Las temperaturas medianamente altas y altas (entre 24,1 y 27,9 °C), se extienden a lo largo de casi toda la ciudad, tanto al oriente, centro y poniente. Áreas densamente urbanizadas, como las que se encuentran entre los cerros Barón y Molinos; La Virgen

y Cordillera, el Plan o centro y el sector alto de Placeres y Playa Ancha, son especialmente cálidas y la inflexión de las isotermas, pareciera mostrar una gran isla de calor que va más allá de los límites de la ciudad.

Las temperaturas de valores medios (entre 21,5 y 24 °C), en tanto, cubren una porción muy pequeña al norte de Playa Ancha y al suroriente de la ciudad, en sectores como El Vergel, Washington, parte alta de Rodelillo y Quebrada Yolanda, cuestión que da cuenta, del rápido descenso de la temperatura a pocos metros de distancia.

Figura Nº 13: Distribución de temperaturas atmosféricas a las 15:00hrs.



Fuente: Elaboración propia.

4.1.4 Comportamiento y distribución de las temperaturas a las 18:00 hrs.

A las 18:00 hrs. (Figura N°14) la diferencia entre los mayores y menores valores registrados comienza a disminuir (11 °C), aunque sus registros se mantienen elevados (19,6 y 30,6 °C respectivamente).

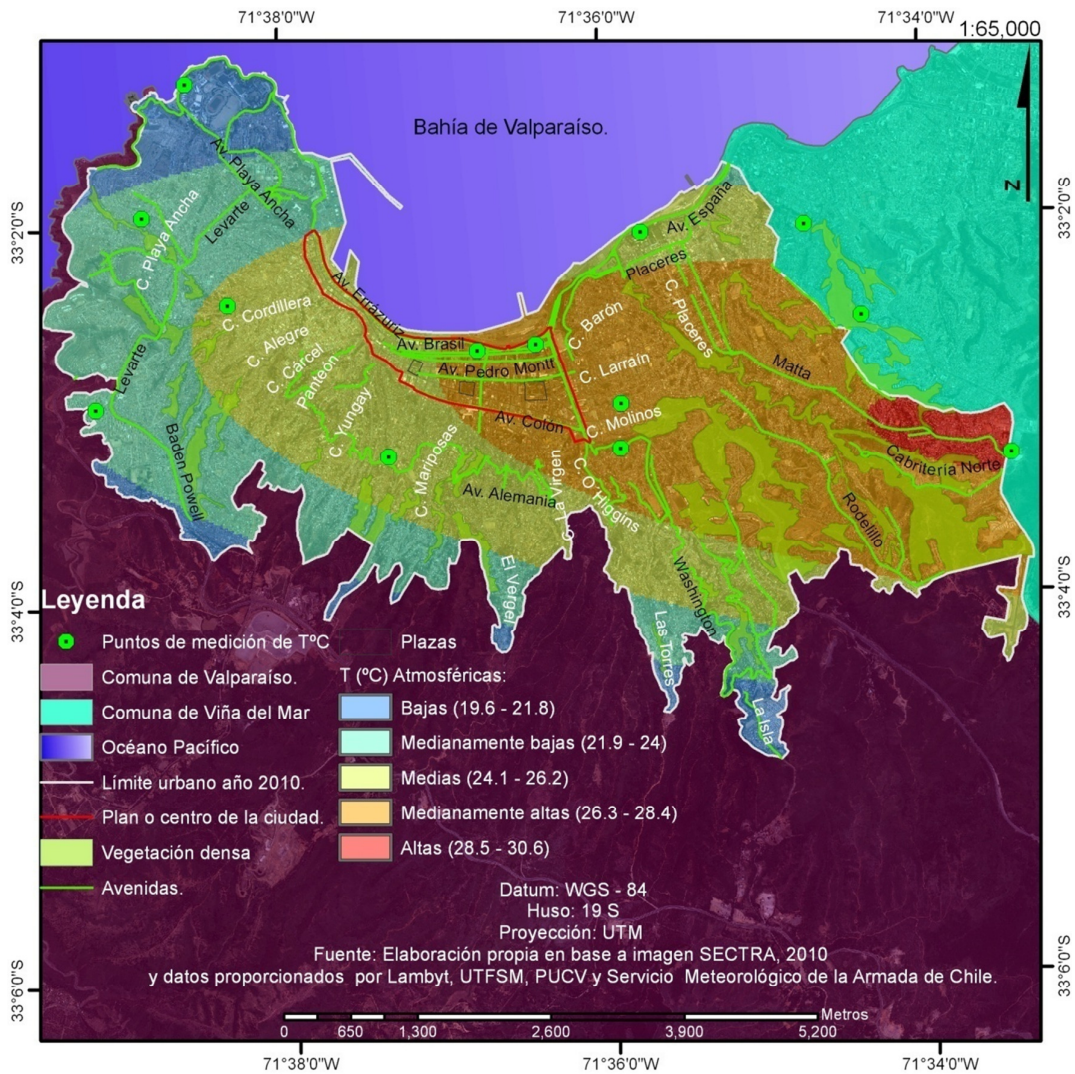
Las temperaturas bajas y medianamente bajas (entre 19,6 y 24 °C), se ubican a excepción del sector oriente, sobre la periferia de la ciudad, y tanto el norte de Playa Ancha, así como los sectores de El Vergel, Las Torres y La Isla, son hasta ahora, áreas persistentemente más frescas.

Las temperaturas medianamente altas y altas en tanto (entre 26,3 y 30,6°C), se concentran sobre el sector oriente del Plan, en el sector alto de los cerros Esperanza y Placeres, y sobre la totalidad del área urbana comprendida entre los cerros Barón y Molinos.

El sector poniente del centro y puerto, las inmediaciones de Avenida España a la altura de los cerros Placeres y Esperanza, y los alrededores del camino Cintura, entre los cerros La Virgen y Cordillera; registran temperaturas de valores medios, las que fluctúan entre 24,1 y 26,2 °C.

En general, comparativamente el sector poniente, es más frío que el oriente; sin embargo, ello no significa que la intensidad de las temperaturas en el centro y alrededores del mismo, se diferencie mucho, del observado a las 15:00 hrs. Al respecto, el cambio en la configuración espacial de las temperaturas en este horario, tiene más relación, con la aparición del núcleo especialmente cálido observado al oriente, que con un descenso de los registros al poniente.

Figura N° 14: Distribución de temperaturas atmosféricas a las 18:00hrs.



Fuente: Elaboración propia.

4.1.5 Comportamiento y distribución de las temperaturas a las 21:00 hrs.

A las 21:00 hrs. (Figura N°15), la diferencia entre los lugares más cálidos y más fríos decrece rápidamente llegando a los 5,5°C. El descenso de los valores extremos, considerando las temperaturas del horario anterior, llega a los 8,3 y 2,8 °C en el caso de las temperaturas más altas y más bajas respectivamente.

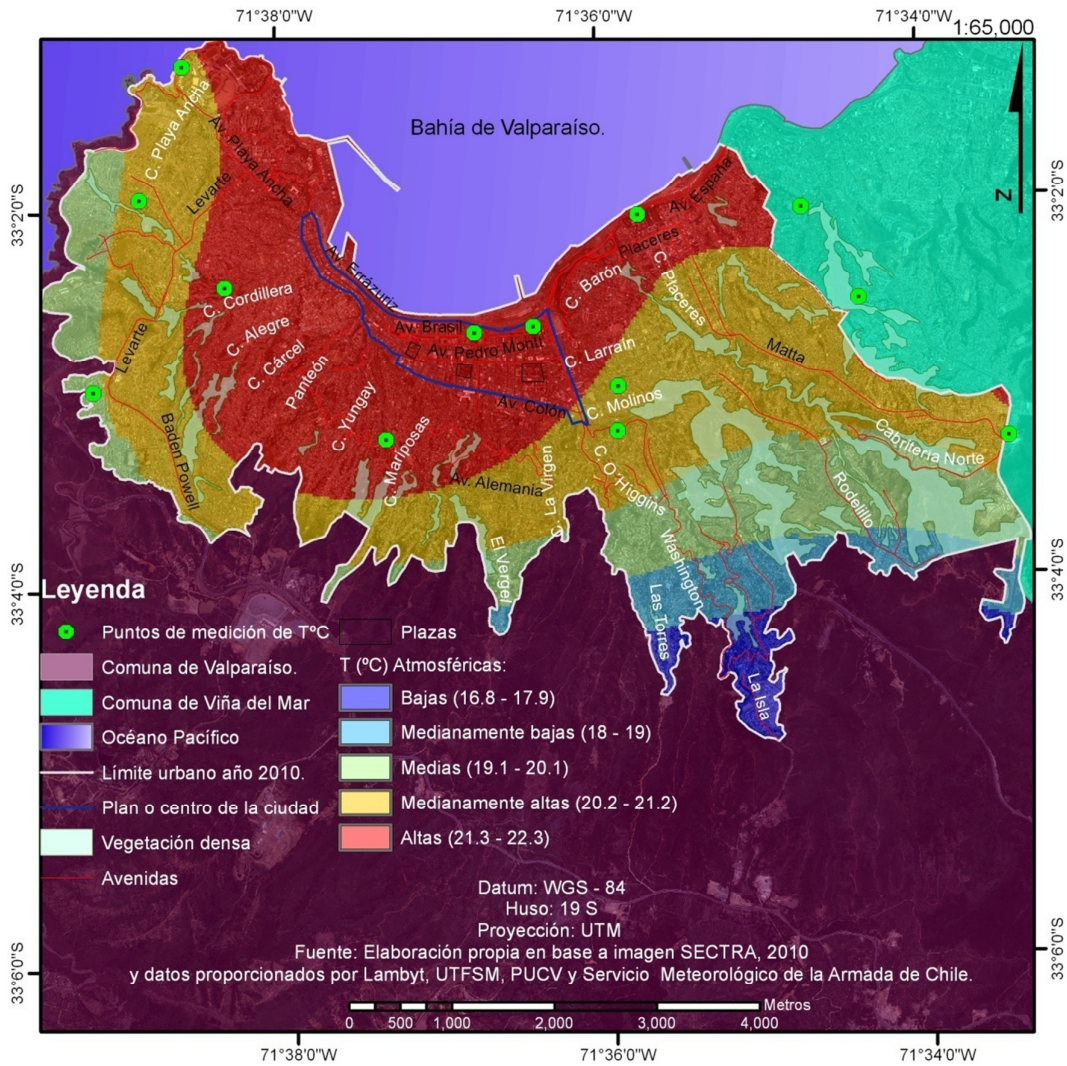
Las temperaturas bajas y medianamente bajas (entre 16,8 y 19 °C), se concentran aisladamente esta vez, sólo en los sectores de El Vergel, Las Torres, La Isla, parte alta de Rodelillo y aeropuerto.

Respecto a las temperaturas medianamente altas y altas (entre 20,2 – 22,3°C), se observa que estas han descendido abruptamente, pero que se distribuyen al igual que las 15:00 hrs, sobre gran parte de la ciudad, cubriendo las áreas más densamente urbanizadas. Esta vez las isothermas, adquieren forma de cuña abierta en dirección al mar, desde donde decrecen gradualmente las temperaturas hacia el interior.

La periferia de Playa Ancha, así como El Vergel, alrededores de Rodelillo y parte alta del cerro O`Higgins y quebrada Yolanda, son áreas comparativamente templadas que registran temperaturas que oscilan entre 19 y 20 °C.

En general, la distribución de las temperaturas, muestra que durante la noche, Valparaíso registra una amplia isla de calor urbano, que se centra sobre las áreas más densamente urbanizadas y en donde la inflexión de las isothermas, adquiere forma de cuña, forma típica de las islas de calor de ciudades costeras.

Figura N° 15: Distribución de temperaturas atmosféricas a las 21:00hrs.



Fuente: Elaboración propia.

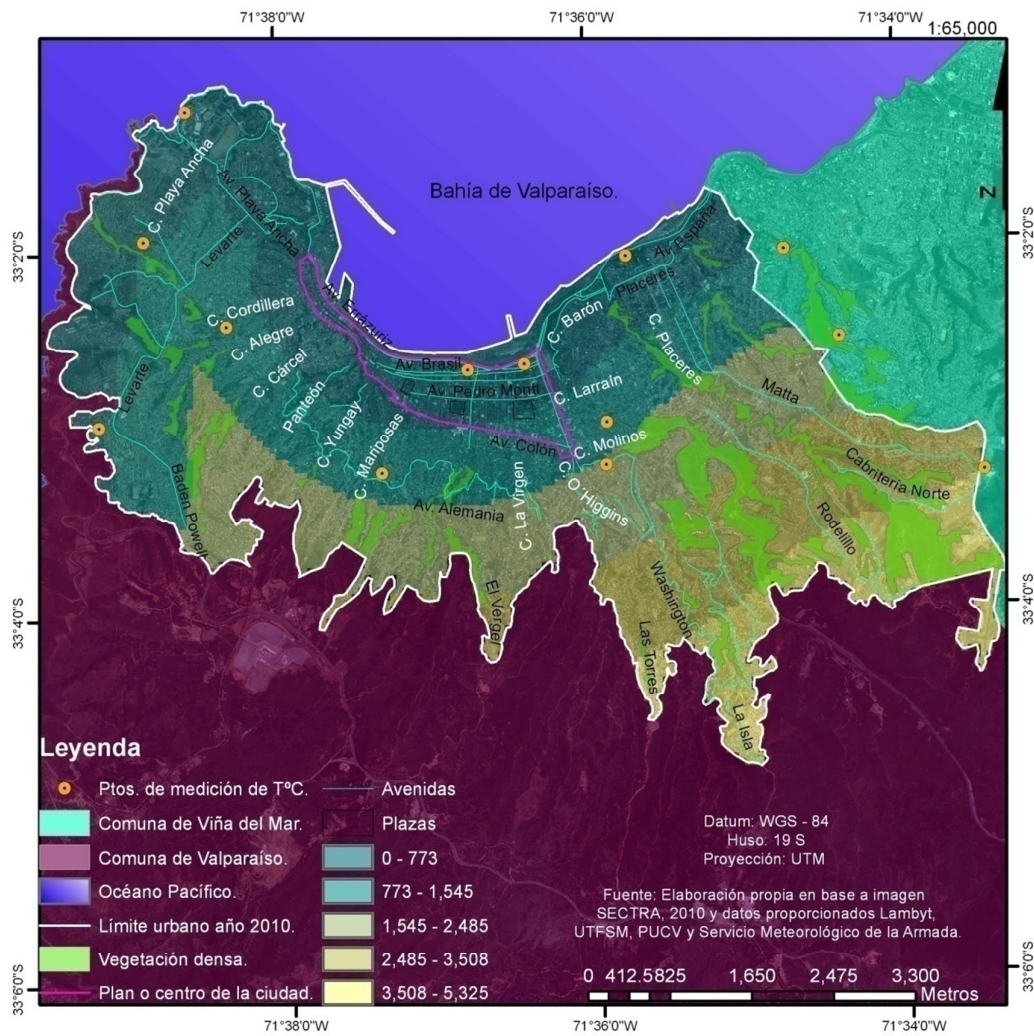
4.2 Distribución espacial de las variables geográficas y urbanas.

4.2.1 Distancia al mar: Se ha señalado, que las coberturas de suelos aledaños a las áreas urbanizadas, influyen directamente en la variabilidad de las temperaturas atmosféricas al interior de estas (Mendonca, 2009). Valparaíso al ser una ciudad costera, posee un clima ligado a la influencia de la humedad y temperaturas marinas, especialmente frías debido a la presencia de la corriente de Humboldt. Las brisas de mar, transportan por advección masas de aire y con estas, sus propiedades como

temperatura y humedad relativa. La bibliografía indica que la temperatura y la distancia al mar, se relacionan de manera lineal y directa durante el día (Pigeonet *al*; 2007), y que las zonas más frescas, suelen encontrarse próximas a la línea de costa (Ruiz – Flañoet *al*, 2008).

Respecto a la configuración espacial de esta variable, en la Figura N°16, se observa que la población urbana de Valparaíso, se encuentra en promedio a 1,5 Km del mar. Sectores altamente urbanizados como el casco histórico, el área de comercio y servicios presente en las inmediaciones de la Avenida Pedro Montt y barrios universitarios, ubicados principalmente sobre el cerro Playa Ancha y Placeres, se encuentran a no más de 700 metros o 7 cuadras de la línea de costa, mientras que los alrededores de Avenida Levarte en Playa Ancha, así como los alrededores de Avenida Alemania, entre los cerros Cordillera por el Poniente y La Virgen al Oriente, se encuentran entre 700 y 1,500 metros. El resto de la ciudad, se sitúan entre 1,5 y 5 km, siendo comparativamente el Suroriente de la ciudad, el más distante al mar.

Figura N° 16: Distancia al mar.



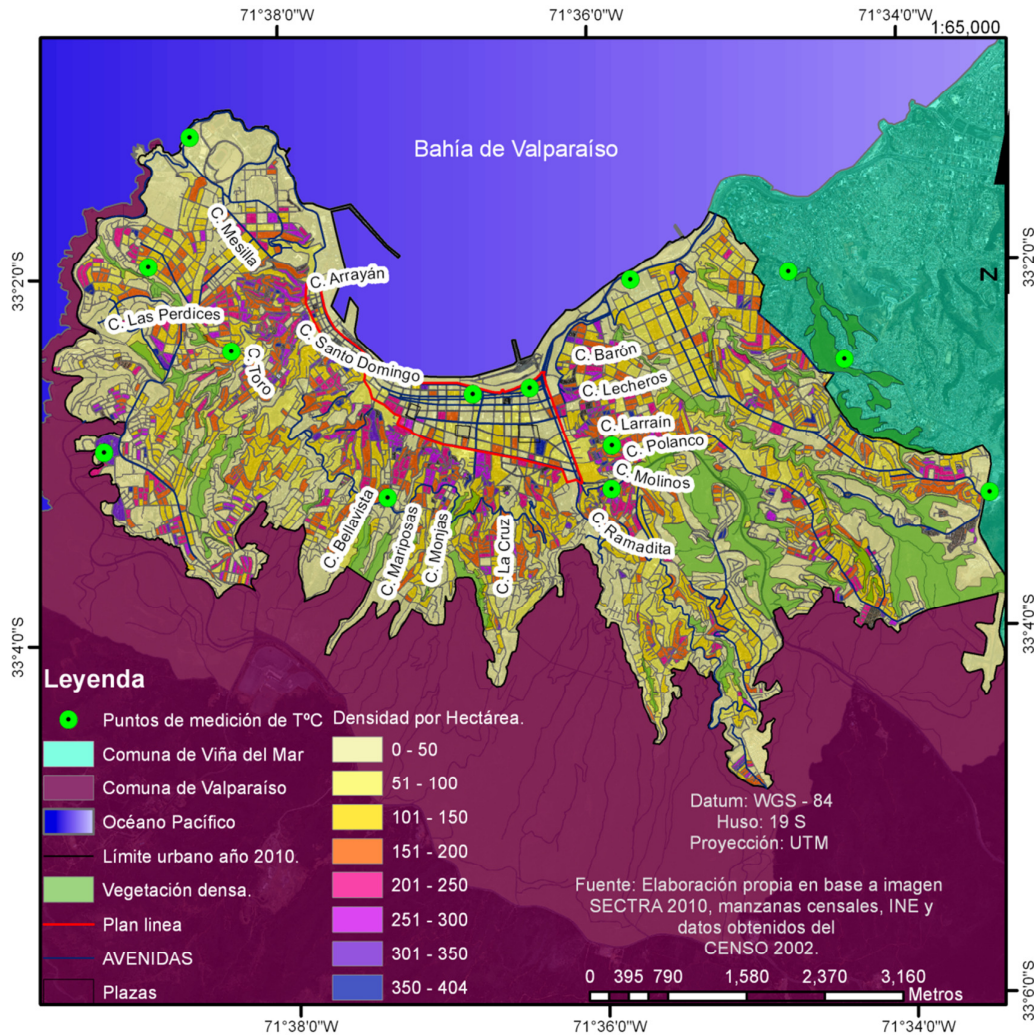
Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 Densidad de población por hectáreas, según manzana censal: Los impactos que producen las ciudades sobre el medio ambiente están estrechamente relacionados con la densidad y montos de población (Sarricolea, 2008). Esta variable refleja en gran medida, el consumo de energía por unidad de superficie, considerando las rutinas propias de las personas (Wienert, 2005). De acuerdo a Oke (1987) y Coutts *et al* (2007), se correlaciona de manera exponencial con las temperaturas, en donde las mayores densidades, favorecen la presencia de mayores temperaturas.

En el caso de Valparaíso, la densidad de población por hectárea, alcanza un promedio de 134,2 habitantes, cifra bastante alta comparada por ejemplo, con la ciudad de Santiago (49,01 habitantes por hectárea según Sarricolea, 2008). Como se observa

en la Figura N°17, es posible distinguir tres grandes sectores densamente poblados. El primero de ellos, al poniente de la ciudad, lo conforman los cerros Arrayán, Santo Domingo, Toro, Mesilla y Las Perdices. La segunda área densamente poblada, la conforman los cerros (de poniente a oriente) Bellavista, Mariposas, Monjitas y La Cruz. El sector conformado por los cerros que rodean al Plan hacia el oriente, conforma la tercera área densamente poblada: de norte a sur destacan las densidades observadas en los cerros, Barón, Lecheros, Larraín, Rodríguez, Polanco y Molino. Las zonas con menor densidad de población en tanto, son el centro o Plan de la ciudad, y la periferia sur.

Figura N° 17: Densidad de población por hectárea, según manzana censal, en el área urbana de Valparaíso.

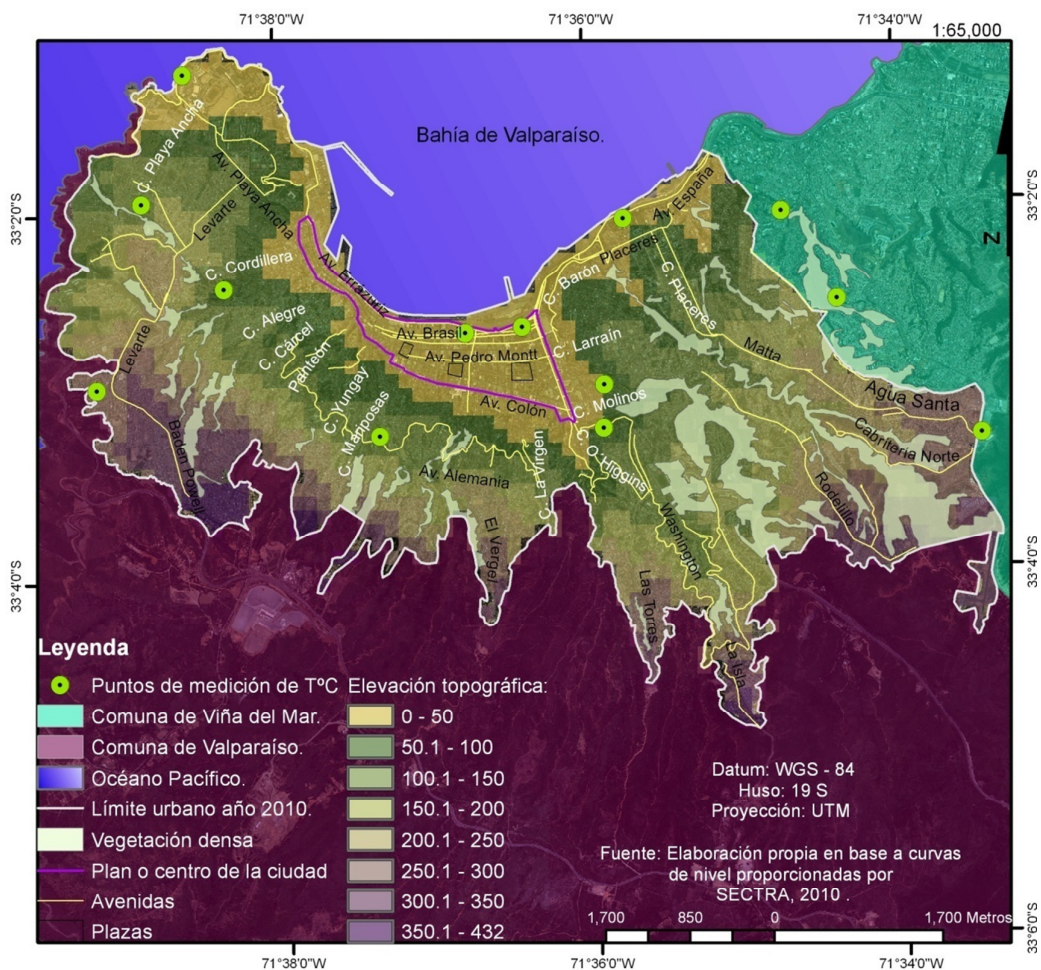


Fuente: Elaboración propia.

4.2.3 Elevación topográfica: Esta variable, es definida considerando como referencia, la altitud media del nivel del mar, y es utilizada para dar cuenta de la orografía que caracteriza a la ciudad. De acuerdo a la bibliografía, condiciona directamente la configuración espacial y el comportamiento horario de las temperaturas (Montávez *et al*, 2000; Wienert, 2005; Cuadrat *et al*, 2005; Ruiz – Flaño *et al*, 2008), y en el caso de Valparaíso, se ha señalado incluso, que puede tener una influencia aún mayor que la distancia de un lugar a la línea de costa, en la variación de las mismas (Erazo, 2006). Teóricamente, la relación estadística entre ambas variables, debiera ser lineal e inversa, es decir, a mayor altura, menor temperatura y viceversa, sin embargo, se sabe que esta tendencia, está fuertemente condicionada por el contexto geográfico y urbano (Jo *et al*, 2001, Sarricolea & Romero, 2009).

Como se observa en la Figura N°18, la población de Valparaíso, se encuentra en promedio a 152,5 metros de altura y el área urbanizada de la totalidad del centro y sector del Puerto de la ciudad, se encuentra sobre la terraza más baja a no más de 50 msnm. La terraza contigua al Plan, en donde se sitúa el sector norte del cerro Playa Ancha y Cordillera al poniente, así como el sector norte de los cerros ubicados entre el cerro Alegre al poniente y O´Higgins al oriente y los cerros comprendidos entre el cerro Barón y Molinos al oriente, aumentan abruptamente en altura pasando de un promedio de 25,5 a 100 metros snmm. La periferia sur en tanto, es el área que a mayor altura se encuentra. Sectores como Montedónico o Baden Powell al sur de los cerros Playa Ancha y Cordillera, El Vergel y Las Torres, al sur de los cerros La Cruz y O´Higgins respectivamente, y Rodelillo y Agua Santa al suroriente de la ciudad, se ubican por sobre los 300 msnm.

Figura N° 18: Elevación topográfica en el área urbana de Valparaíso.



Fuente: Elaboración propia.

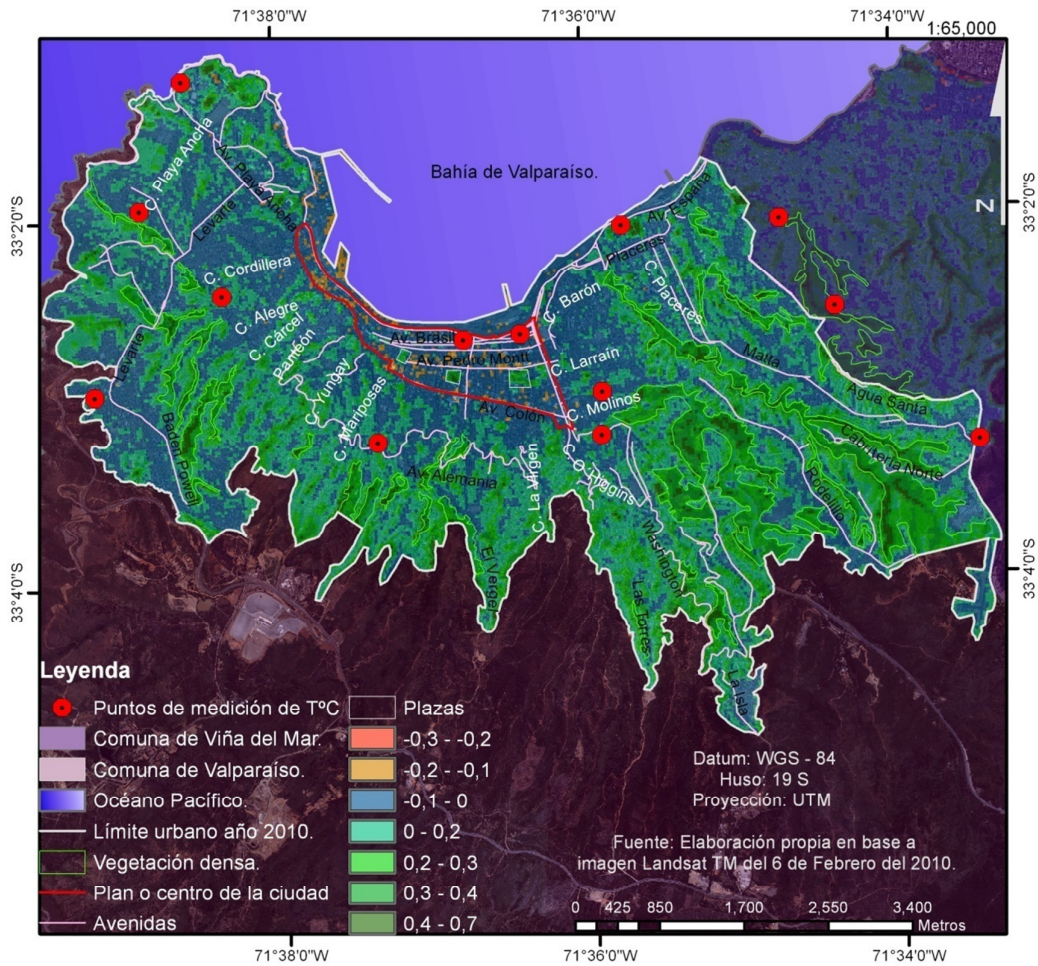
4.2.4 Exposición de laderas: Es una variable que debería mostrar, una fuerte correlación con las temperaturas atmosféricas, debido a que da cuenta de la cantidad de insolación recibida en una determinada área según horario. Como la cantidad de insolación depende de la hora del día, las correlaciones pueden mostrarse tanto positivas como negativas (Sarricolea & Romero, 2009).

Como se observa en la Figura N°19, el sector poniente de la ciudad, conformado por los cerros Playa Ancha, Cordillera, Alegre, Las Perdices, Yungay, Bellavista, Monjitas, La Cruz y Las Cañas entre otros, hay un predominio de laderas con exposición norte, noreste y este (a excepción del lado poniente del cerro Playa Ancha). En el centro o Plan, la tendencia es la misma. Al oriente, en tanto, donde se sitúan cerros como Ramadita, Polanco, Larraín, Barón y Placeres, hay un predominio de laderas con

solar, lo que genera que la superficie se caliente mucho menos. Ambos procesos, favorecen el descenso de consumo de energía utilizada para temperar el interior de las edificaciones (Akbariet *al*, 2001), y contrarrestan entre otras cosas, el efecto de isla de calor.

La Figura N° 20, muestra la productividad vegetal de las superficies con vegetación en la ciudad de Valparaíso. Esta variable no sólo da cuenta de la presencia importante de quebradas con vegetación, sino que también, muestra como en los cerros, la urbanización no puede ser asociada a una completa impermeabilización de los suelos. La productividad vegetal promedio en la ciudad, es de 0,2; el máximo valor es de 0,7 y el mínimo de -0,3. Como es de esperar, las zonas altamente urbanizadas como son el centro y puerto, presentan valores cercanos a -1; excepciones son la Avenida Brasil, las plazas O´Higgins y Victoria, y el Parque Italia. En el resto de la ciudad, los sectores que poseen vegetación con mejor productividad, son aquellos situados sobre las terrazas altas y planicies superiores. Las terrazas bajas y de altura media en tanto, muestran una productividad vegetal que oscila entre -1 y 0,2, destacando la presencia de vegetación dispersa que se observa en los cerros, Playa Ancha, Alegre, Concepción, Yungay, La Cruz, Las Cañas, O´Higgins y Placeres. A diferencia de la variable descrita a continuación, el índice de productividad vegetal, da cuenta de la presencia y estado tanto de vegetación dispersa como densa, por lo cual puede evidenciar el efecto de la vegetación sobre las temperaturas atmosféricas en zonas que no se encuentran cercanas a las quebradas altamente vegetadas de la ciudad.

Figura Nº 20: Índice de diferencia vegetal normalizada (NDVI).



Fuente: Elaboración propia.

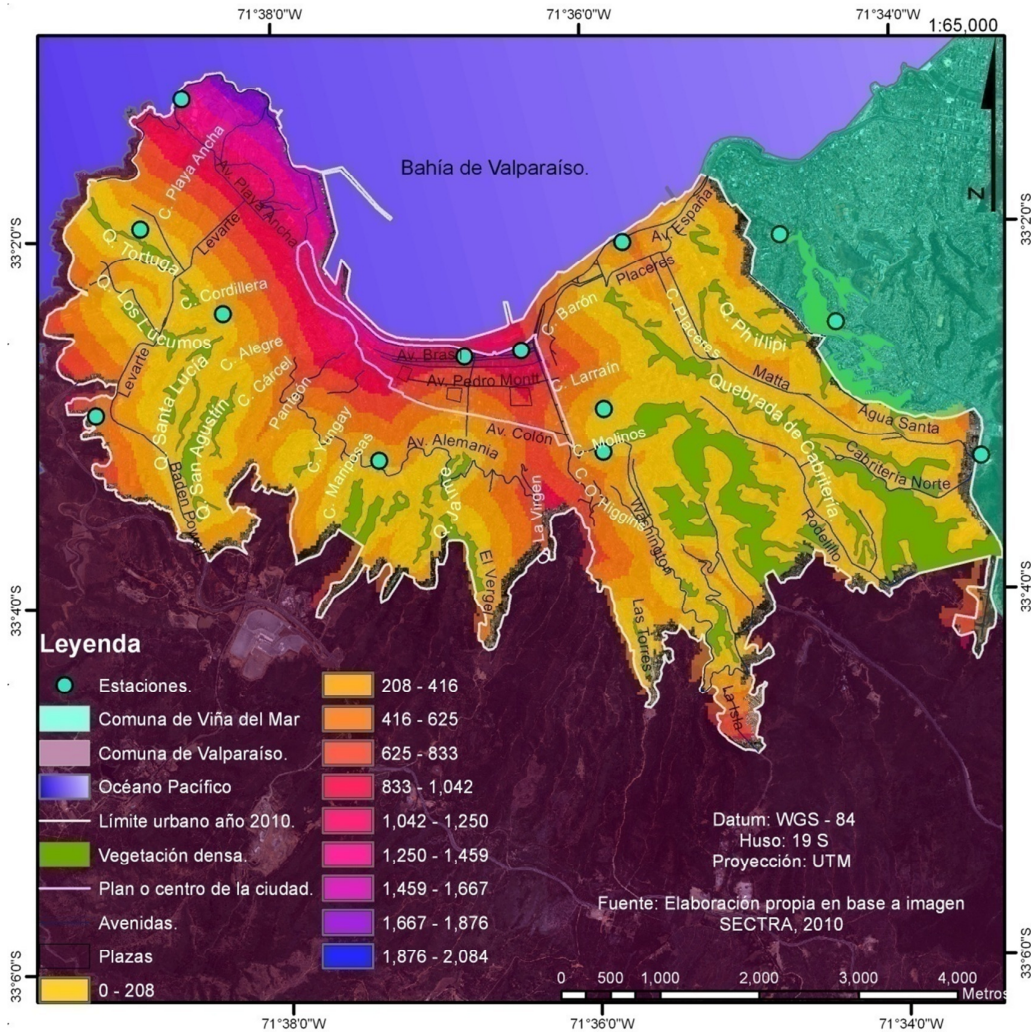
4.2.6 Distancia a formaciones de vegetación densa: La densidad y tamaño de los parches con vegetación al interior de las ciudades, influyen directamente sobre los efectos benéficos de los mismos, favoreciendo la regulación de temperaturas extremas y mitigando el efecto de islas de calor, debido a que se comportan como islas de frescor al aumentar la humedad relativa del aire y proporcionar sombra (Nowak & McPherson, 1993). Se ha señalado incluso, que los parques pequeños y zonas ajardinadas, no poseen en general, una influencia importante sobre la variabilidad de las temperaturas atmosféricas, al contrario de los espacios con amplias zonas dotadas de vegetación densa (Ruiz – Flaño *et al*, 2008; Zhang *et al*, 2008), las que dejan sentir sus efectos a mayor distancia (Honjo & Takakura, 1991; Nowak & McPherson, 1993). Debido a lo anterior, se ha asociado frecuentemente esta variable, con la morfología e

intensidad de islas de calor urbanas, resaltando que las grandes áreas verdes, aparecen como zonas relativamente frías en comparación con las superficies construidas de su entorno (Sarricolea *et al*, 2008; Romero *et al*, 2008).

La población urbana de Valparaíso, se encuentra en promedio a 356,6 metros de zonas con formaciones de vegetación densa, y como se observa en la Figura N° 21, la población al suroriente, sur y oriente de la ciudad, no se encuentra a más de aproximadamente 400 metros. El centro, así como el área norte de Playa Ancha son los sectores más alejados, pudiendo identificarse zonas a más de 2 km de distancia.

Destacan por su densidad de vegetación, de poniente a oriente, las quebradas Tortuga y Los Lúcumos en Playa Ancha; Santa Lucía, en el cerro Cordillera; San Agustín, sobre el cerro Alegre; Yervas Buenas, entre los cerros Cárcel y Bellavista; quebrada Jaime, sobre el cerro La Cruz; De Cabritería, entre los cerros Barón y Placeres (conocida también como quebrada Yolanda) y quebrada Phillipi, ubicada entre el cerro Placeres y Recreo, este último perteneciente a la ciudad vecina de Viña del Mar. Cabe mencionar, que esta variable da cuenta de una de las particularidades del paisaje de Valparaíso, en donde coincide la presencia de formaciones de vegetación densa, con la localización de las principales quebradas de la ciudad. Esta particularidad, puede reforzar el efecto moderador de las temperaturas que genera la vegetación, y permite analizar indirectamente la presencia y función de las quebradas, como canalizadoras de masas de aire fresco.

Figura N° 21: Distancia a formaciones de vegetación densa en el área urbana de Valparaíso.



Fuente: Elaboración propia.

4.2.7 Zonas Climáticas Termales: La zonificación climática de Stewart & Oke, 2009, incluye indicadores que dan cuenta de variables referidas principalmente a la morfología urbana y a las intensidades de uso del suelo y sus grados de impermeabilización.

La literatura referida a la primera de ellas, concuerda en que la morfología de la estructura urbana, es determinante en la variación de las temperaturas al interior de las ciudades (Oke, 1987; Lindberg *et al*, 2003; Arnfield, 2003; Grimmond, 2007). Para su análisis, el modelo estima la altura promedio de los edificios, la relación entre el alto y ancho de los cañones urbanos, su densidad o rugosidad y el factor de visibilidad del

cielo, correspondiendo este último, a la proporción de cielo visible desde un punto, respecto del total de cielo visible considerando el total del hemisferio. Todos ellos afectan la salida de radiación de onda larga durante la noche, debido a que la atrapan afectando las velocidades de enfriamiento que tendría un material, en ausencia de obstáculos. Modifican además, el acceso de luz solar durante el día y la dirección y velocidad del flujo del viento a nivel de la calle (Spronken – Smith & Oke, 1999).

Las intensidades de uso de suelo en tanto, son representadas por el flujo de calor antropogénico, el cual afecta directamente el balance energético en la ciudad, principalmente sobre el centro y áreas con usos de suelo industrial (Grimmond & Oke, 1998; Guijarro, 1998; Wienert, 2005). Al respecto se estima, que durante el verano, las áreas residenciales generan en promedio 30 Wm^{-2} o casi 13 veces menos la cantidad de calor que las áreas céntricas, con usos de suelo asociados a comercio y servicios (Arnfield, 2003).

Respecto a los grados de impermeabilización, el modelo incluye los porcentajes de superficie impermeable y construida. Ambas variables, dan cuenta de procesos que afectan el balance energético debido a la pérdida de humedad relativa del aire, asociada al aumento de la escorrentía superficial y a la ausencia total (superficie impermeable) y/o parcial (superficie construida) de vegetación (Arnfield, 2003; Pauleit *et al*, 2005). Se ha señalado, que las temperaturas se relacionan de manera lineal y directa con el porcentaje de superficie construida y porcentaje de impermeabilización del suelo (Yuan & Bauer, 2007; Zhang *et al*, 2008) y que las temperaturas mínimas esperables poco antes del amanecer, incluso aumentan debido a las características térmicas de los materiales con los cuales se impermeabiliza el suelo y construyen edificaciones (Pauleit *et al*, 2005).

En la zonificación hecha al interior de la ciudad, destaca la presencia de urbanización densa y dispersa de baja altura (de color turquesa y azul en el mapa respectivamente), seguidas de vegetación densa y urbanización densa de mediana altura (fucsia), relacionada esta última al centro o Plan. No se distinguen ZCT asociadas a urbanización de gran altura, salvo algunos polígonos dispersos al oriente de la ciudad, muy próximos al límite con la ciudad vecina de Viña del Mar.

En la Tabla N° 8, se indica la superficie que abarcan, posteriormente se describen las características observadas en cada una, así como su distribución espacial (Figura N°22).

Tabla N° 8: Superficie según Zona Climática Termal.

ZCT	Abreviatura	Km ²	Hectáreas
Vegetación densa	N1	3,6	359,1
Vegetación dispersa	N2	0,2	22,6
Playa	P	0,3	29,1
Suelo desnudo	SD	0,6	57,5
Urbanización densa de gran altura	B1	0,02	1,5
Urbanización densa de mediana altura	B2	1,8	177,1
Urbanización densa de baja altura	B3	14,8	1483,9
Urbanización dispersa de gran altura	B4	6,2	624,3
Urbanización dispersa de mediana altura	B5	0,04	4,1
Urbanización dispersa de baja altura	B6	0,1	12,6
Urbanización extensiva de baja altura	B7	0,5	48,6
Urbanización escasamente desarrollada	B9	1,2	121,9

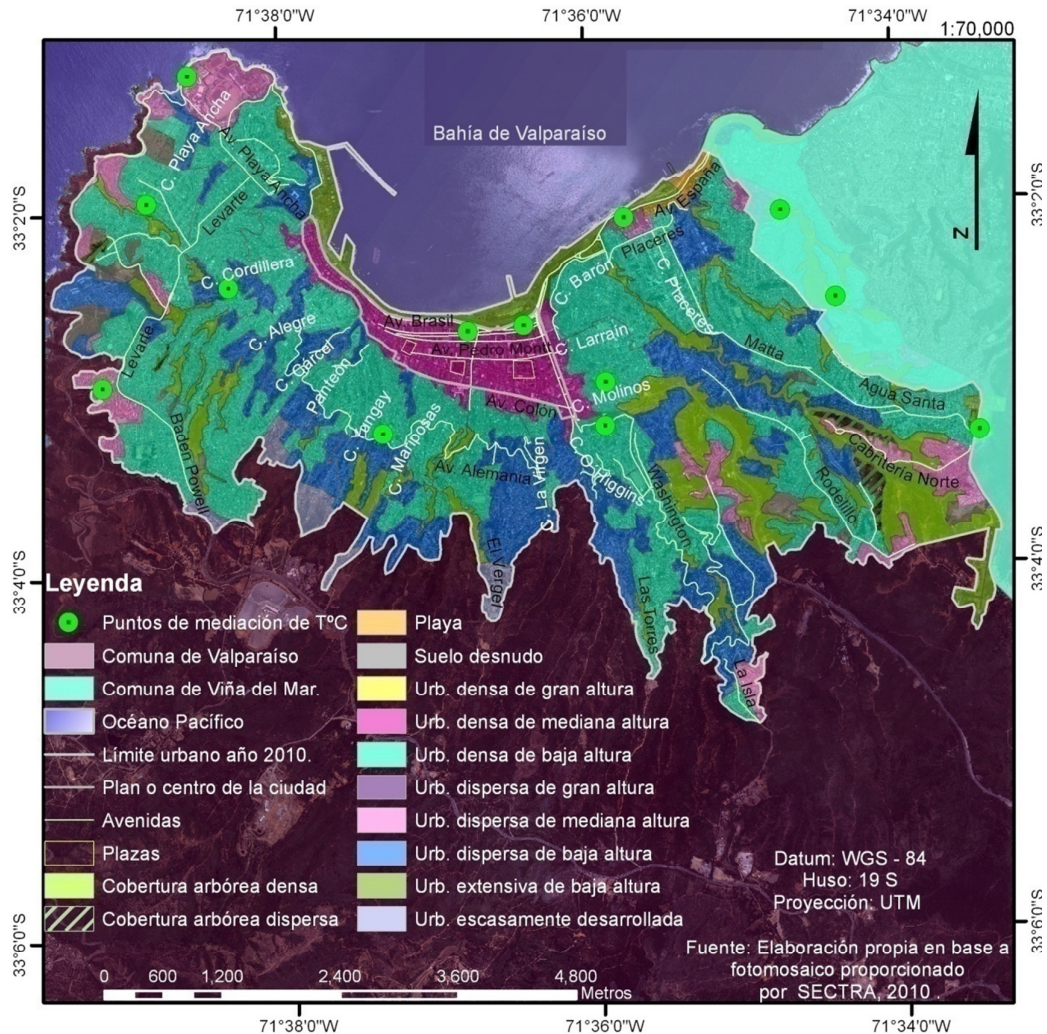
Fuente: Elaboración propia.

- N1: Corresponde a coberturas con formaciones de vegetación densa que se encuentran espacialmente distribuidas sobre fondos de quebradas y laderas de exposición norte. Abarcan 359,1 hectáreas al interior de la ciudad. La presencia de cobertura arbórea densa, debiese favorecer la amortiguación de temperaturas atmosféricas altas, debido a la alta presencia de humedad disponible en la atmósfera, además de favorecer la circulación de masas de aire fresco debido a que se distribuyen sobre las principales quebradas de la ciudad, conformando corredores naturales de circulación.
- N2: Corresponde a coberturas de vegetación dispersa, las cuales en general son escasas, cubren 22,6 hectáreas del total de superficie de la ciudad. Se localizan puntualmente sobre las laderas de exposición sur en la quebrada Yolanda y en laderas de exposición poniente en el sector 1 de Playa Ancha.
- P: Corresponde a playas y urbanización asociada. Se reconoce como zona climática de transición, entre el mar y la ciudad urbanizada propiamente tal. Su presencia es escasa, debido a la condición de ciudad puerto de Valparaíso; sin embargo, en las cercanías del límite con la ciudad de Viña del Mar, se encuentran las playas de Caleta Portales, ubicada a los pies del cerro Placeres y la Playa Yolanda, ubicada a los pies de la quebrada de Cabritería,

las que en conjunto, cubren un total de 29,1 hectáreas del total de superficie de la ciudad.

- SD: Corresponde a suelo desnudo y da cuenta de parches al interior de la ciudad, que se encuentran desprovistos de cualquier tipo de cobertura. Dependiendo del color y por ende de la capacidad que posean estos suelos de absorber y emitir radiación, es que se podría esperar que contribuyan o no a la generación de microclimas. Dentro de la mancha urbana, se distinguen suelos desnudos en el sector de Porvenir (Cerro Playa Ancha), en Baden Powell, Montedónico (sector alto de los cerros Playa Ancha y Cordillera) y al Oeste de la Avenida José Santos Ossa a la altura de Hanga Roa. Cubren una superficie total de 57, 5 hectáreas.
- B1: Corresponde a urbanización densa de gran altura. En la ciudad es casi inexistente y se identifica en un pequeño polígono en el sector oriente de la quebrada Cabritería o Yolanda (cerro Placeres), que posee edificios de alrededor de 20 pisos, ubicados muy próximos entre sí. De acuerdo al modelo y a lo que se observa, el factor de visibilidad del cielo es bajo, así como la presencia de vegetación. Los porcentajes de superficie impermeabilizada y/o construida, fluctúan entre un 40 y 60 %; la altura media de los edificios supera los 35 metros y la rugosidad es muy alta. El flujo de calor antropogénico en tanto, debiera oscilar entre 50 y 300 W m⁻². Todas estas características, debieran favorecer la absorción de radiación solar durante el día y la emisión paulatina de la misma durante las horas de la noche, contribuyendo sobre todo en este horario, a que sus temperaturas sean comparativamente más altas que el resto de la ciudad.
- B2: Corresponde a urbanización densa de mediana altura y se observa en el centro o Plan de Valparaíso. Comparativamente con el resto de la ciudad, se caracteriza por poseer una disposición bastante ordenada de sus calles y avenidas, en las que se produce el mayor tránsito y congestión vehicular. Sus edificaciones están muy próximas unas de otras, se distribuyen de manera uniforme y tienen en promedio 5 o 6 pisos de altura, por lo que el factor de visibilidad del cielo, es reducido. La presencia de áreas verdes, se remite a las plazas O'Higgins, Italia, Victoria y Av. Brasil y el uso de suelo predominante es el de servicios.

Figura N° 22: Distribución espacial de Zonas Climáticas Termales en el área urbana de Valparaíso.



Fuente: Elaboración propia en base a modelo de Zonas Climáticas Termales (Stewart & Oke, 2009).

- B3: Corresponde a urbanización densa de baja altura y es la ZCT que mejor representa el tipo de urbanización que se da en la ciudad. Se caracteriza por la presencia de viviendas de uno y dos pisos, las cuales se emplazan muy cercanas unas de otras. El acceso a ellas, está dado por las principales avenidas, pero además por calles estrechas, por lo que el flujo vehicular es moderado y leve, sobre todo en los sectores con mayor pendiente. Algunas viviendas poseen pequeños patios traseros, los cuales por lo general, colindan con quebradas de vegetación densa y dispersa; al respecto, la presencia de

vegetación es en su mayoría producto del azar y no de la implementación de áreas verdes, que constituyan parte de una urbanización planificada en sí misma. De acuerdo a los autores del modelo, la urbanización de este tipo, debiera favorecer, la presencia de temperaturas comparativamente más altas que sectores en los cuales la urbanización es dispersa.

- B4: Corresponde a urbanización dispersa de gran altura y se observa solo en el límite nororiente de la ciudad. Está definida por edificaciones con fines turísticos, que superan los 20 pisos de altura y que se encuentran ubicados contiguos a la línea de costa junto a Avenida España, muy dispersos unos de otros por medio de jardines, piscinas y estacionamientos. Según los autores del modelo, este tipo de urbanización debiese generar un clima con temperaturas comparativamente más altas que en general, el resto de las ZCT.
- B5: Corresponde a urbanización dispersa de mediana altura y se encuentra sobre áreas bien definidas, dadas principalmente, por el barrio universitario y los sectores de viviendas sociales II, III, IV, V y VI de Playa Ancha, y viviendas sociales ubicadas al sureste, próximas al aeropuerto (Cabritería Norte). Esta Zona Climática, en ciudades europeas y norteamericanas, suele poseer entre un 20 y 40% de superficie cubierta con vegetación; sin embargo, en el caso de las viviendas sociales de Valparaíso, similar porcentaje de superficie, se encuentra casi absolutamente desnuda. En el caso del barrio universitario, el tráfico es bastante alto, mientras que en las viviendas sociales, muy bajo. Los edificios en general no superan los 6 pisos de altura.
- B6: Corresponde a urbanización dispersa de baja altura y es muy frecuente en la ciudad. Se trata de áreas urbanizadas con alta presencia de vegetación, sobre todo natural, ubicada sobre fondos de pequeñas quebradas. Está constituida por viviendas residenciales de no más de dos pisos, las cuales se distribuyen espaciadas unas de otras en general sobre quebradas. La mayoría posee patios traseros, y la presencia de sitios colindantes a ellas, con vegetación y sin uso, es frecuente. Este tipo de urbanización, genera un bajo flujo de calor antropogénico, posee un alto porcentaje de superficie natural y un alto factor de visibilidad del cielo, favoreciendo ello, que las temperaturas sean comparativamente más bajas que en zonas climáticas caracterizadas por urbanizaciones más densas.
- B7: Corresponde a urbanización extensiva de baja altura presente sobre áreas bien definidas, dadas por el puerto a lo largo de la línea de costa, el

aeropuerto, y zonas de almacenaje de productos industriales, ubicados en el sector de Agua Santa, en el límite oriente de Valparaíso. La vegetación es casi inexistente y prácticamente la totalidad del suelo se encuentra impermeabilizado por concreto. La presencia de edificaciones es escasa, tienen baja altura, pero ocupan horizontalmente grandes extensiones de terreno; la demanda de energía en tanto, depende en gran medida del uso del suelo. Los climas sobre éste tipo de urbanización están fuertemente condicionados por su posición geográfica y coberturas y usos de suelo colindantes. En el caso de Valparaíso, tanto el aeropuerto como el área industrial de Agua Santa, se encuentran rodeados de abundante vegetación, Las temperaturas en el puerto en tanto, deberían estar muy influenciadas por su cercanía al mar.

- B9: Corresponde a urbanización escasamente desarrollada y se localiza en la periferia sur de la ciudad, sobre terrazas de gran altura. Se trata de sectores de urbanización espontánea, las que en su mayoría corresponden a ocupaciones ilegales de terrenos (tomas). Las edificaciones son bastante precarias, de uno o dos pisos y se encuentran muy distanciadas unas de otras. No hay servicios en sus inmediaciones y el acceso a ellas está dado principalmente por caminos de tierra y huellas. Debido a lo anterior el porcentaje de superficie impermeabilizada es muy bajo, la vegetación es de tipo dispersa y la rugosidad y el flujo de calor antropogénico, son bajos. Estas características, debieran favorecer la aparición de temperaturas definidas por las condiciones preexistentes del paisaje, equivalentes a este tipo de urbanización incipiente.

4.3 Modelos explicativos del comportamiento y distribución espacial de las temperaturas atmosféricas.

Variables con distribución normal, fueron la temperatura a lo largo de todo el día, la elevación topográfica, exposición de laderas y la presencia y estado de la vegetación. Consecuentemente, para conocer la correlación entre ellas se utilizó el Coeficiente de Correlación de Pearson, mientras que para el resto de las variables, se empleó el Coeficiente de Correlación Rho de Spearman. En la Tabla N° 9, es posible observar las correlaciones entre pares de variables, que representan a los factores explicativos

y las temperaturas atmosféricas registradas a las 9:00, 12:00, 15:00, 18:00 y 21:00 hrs. A partir de ella, es posible afirmar que:

-A medida que la distancia al mar aumenta, también lo hacen las temperaturas (salvo a las 21:00 hrs). La correlación es en general media.

-A mayor elevación topográfica, menores son las temperaturas, siendo la correlación media.

-La forma en que se relaciona la distribución espacial de las temperaturas con la exposición de laderas, depende de la hora del día, siendo directa en las horas de mayor insolación, e inversa durante la mañana y crepúsculo. La correlación a lo largo del día, es en general, media.

-Al aumentar la distancia a formaciones de vegetación densa, la temperatura disminuye, menos durante la noche. La correlación es media.

- A medida que aumenta la presencia de vegetación, la temperatura disminuye, siendo la correlación alta a las 18:00 hrs, y media durante el resto del día.

-En general, al aumentar la densidad de población, la temperatura disminuye. Durante la mañana el valor de la correlación es considerable, para pasar a ser débil y medio durante el resto del día.

-Un mayor factor de visibilidad del cielo, implica menores temperaturas. Durante la mañana la intensidad de la correlación es débil y durante las horas de mayor insolación es más elevada.

-Al aumentar el porcentaje de superficie construida, aumenta la temperatura, menos a las 21:00 hrs, hora en que la relación es débil. Durante la tarde la correlación es en general muy fuerte.

-Al aumentar el porcentaje de superficie impermeable, aumentan las temperaturas, aunque la correlación es en general, débil.

-Al aumentar la altura promedio de los edificios, la temperatura disminuye. La correlación es débil en la mañana, considerable a las 12:00 y 15:00 hrs y media el resto del día.

- A mayor rugosidad de la superficie, mayores temperaturas (menos a las 18:00 hrs), La correlación es en general débil.

- Al aumentar el flujo de calor antropogénico, aumentan las temperaturas. La correlación es débil durante la mañana y noche, pero media, considerable e incluso muy fuerte, durante las horas de mayor insolación.

Tabla N° 9: Correlaciones entre temperatura (°C) y variables explicativas, según horas del día

	9:00 hrs	12:00 hrs	15:00 hrs	18:00 hrs	21:00 hrs
Distancia al mar	0,203	0,275	0,151	0,308	-0,392
Elevación topográfica	-0,281	-0,303	-0,365	-0,152	-0,453
Exposición de laderas	-0,512	-0,100	0,380	0,327	-0,338
D. a formaciones de vegetación densa	-0,236	-0,500	-0,250	-0,088	0,248
Presencia y estado de la vegetación (NDVI)	-0,472	-0,385	-0,385	-0,556	-0,138
Densidad de población	-0,661	-0,083	0,055	-0,359	-0,485
Factor de visibilidad del cielo	-0,064	-0,774	-0,702	-0,295	-0,008
Superficie construida (%)	0,161	0,809	0,680	0,445	-0,174
Superficie impermeable (%)	0,275	0,059	0,186	0,186	-0,108
Altura promedio de edificios	-0,074	-0,593	-0,724	-0,402	0,239
Rugosidad	0,052	0,210	0,052	-0,157	0,447
Flujo de calor antropogénico	0,161	0,809	0,680	0,445	-0,174
Correlación de Pearson			Correlación de Spearman		

Fuente: Elaboración propia.

Las variables que destacan por su correlación con las temperaturas son a las 9:00 hrs, la exposición de laderas y densidad de población; a las 12:00 hrs, la distancia a formaciones de vegetación densa, factor de visibilidad del cielo, porcentaje de superficie construida y natural, altura media de edificaciones y flujo de calor antropogénico; a las 15:00 hrs, flujo de calor antropogénico, porcentaje de superficie construida y altura media de edificios. A las 18:00 hrs, la presencia y estado de la vegetación, mientras que en la noche, la densidad de población.

Considerando el valor de los Coeficientes de Correlación, así como la presencia de colinealidad entre variables, se obtuvieron los modelos de regresión que se muestran en la Tabla N° 10. En ella se observa que las temperaturas aumentan, cuando se incrementa el porcentaje de superficie construida a las 12:00 hrs, y con la exposición de laderas a las 15:00 y 18:00 hrs, mientras que disminuyen a las 9:00, 15:00 y 18:00 hrs, cuando aumenta el índice de diferencia vegetal normalizada, la densidad de población por hectárea, a las 9:00 y 18:00 hrs. Se incrementan también, con la distancia a formaciones de vegetación densa a las 12:00 hrs; la elevación topográfica a las 12:00 y 15:00hrs; la altura media de las edificaciones a las 15:00 hrs; la superficie impermeabilizada a las 18:00 hrs y al variar la exposición de laderas en el caso de la noche.

Tabla N° 10: Ecuaciones de regresión múltiple que explican el comportamiento y distribución de las temperaturas, según horario.

T°C (9:00hrs)	$20,282 + (\text{NDVI} * -14,777) + (\text{Densidad} * -0,016)$
T°C (12:00hrs)	$18,477 + (\text{Distancia a vegetación densa} * -0,004) + (\text{S, Construida} * 0,157) + (\text{Elevación} * -0,014)$
T°C (15:00hrs)	$29,341 + (\text{Elevación} * -0,025) + (\text{Exposición} * 0,012) + (\text{NDVI} * -24,659) + (\text{Altura edificios} * -0,267)$
T°C (18:00hrs)	$33,597 + (\text{Exposición} * 0,018) + ((\text{NDVI} * -29,733) + (\text{Densidad} * -0,031) + (\text{Sup. Impermeable} * -0,227))$
T°C (21:00hrs)	$21,212 + (\text{Exposición de laderas} * -0,007)$

Fuente: Elaboración propia.

Considerando el valor de los coeficientes, es posible señalar además, que a lo largo del día, las temperaturas disminuirían:

- En un promedio de 9°C, al aumentar en 0,5 el índice de diferencia vegetal normalizada.
- En 4,2°C, cuando la superficie impermeabilizada se incrementa en un 20%.
- En 2,7°C, cuando la altura promedio de los edificios aumenta en 10 metros.
- En 2°C, cuando la distancia a formaciones de vegetación densa, aumenta en 500 metros.
- En 1,1°C; cuando la densidad de habitantes por hectárea, aumenta en 50 habitantes.
- En 1°C, cuando la elevación topográfica aumenta en 50 metros.

Mientras que aumentarían:

- En un promedio de 3,1 °C si aumenta en un 20 % el porcentaje de superficie construida.

En el caso de la variable exposición de laderas, que la temperatura aumente o disminuya, depende de la hora del día, pudiendo observarse que en general, cuando la exposición es norte, la temperatura aumenta en un promedio de 1,6°C y que cuando es sur, disminuye en 0,5°C.

4.3.1 Capacidad explicativa de los modelos generados.

En la Tabla N° 11, es posible observar el porcentaje de varianza explicada por cada modelo según los coeficientes utilizados. En ella, se observa que la varianza de las temperaturas atmosféricas, es explicada de manera conjunta en un 66,2% a las 9:00 hrs, por la densidad de población y la presencia de vegetación; en un 75,9% a las 12:00 hrs, por el porcentaje de superficie construida, la distancia a formaciones de vegetación densa y la elevación topográfica; en un 85,7% a las 15:00 hrs, por la presencia de vegetación, exposición de laderas, altura media de edificaciones y elevación topográfica; en un 94,1% a las 18:00 hrs, por la presencia de vegetación, densidad, exposición de laderas y porcentaje de superficie impermeable y por último, en un 62,3% a las 21:00 hrs, por la exposición de laderas.

Tabla N° 11: Coeficientes que dan cuenta de la varianza explicada de la temperatura atmosférica, en las regresiones obtenidas para cada horario.

Hora	R	R cuadrado	R ² corregido
9:00 ¹	0,8541	0,729	0,662
12:00 ²	0,9052	0,819	0,759
15:00 ³	0,9563	0,914	0,857
18:00 ⁴	0,9824	0,965	0,941
21:00 ⁵	0,8135	0,661	0,623

Fuente: Elaboración propia.

1. Variables predictivas: Densidad, NDVI.

2. Variables predictivas: Superficie construida (%), distancia a vegetación densa, elevación topográfica.

3. Variables predictivas: Elevación topográfica, NDVI, exposición de laderas, altura media de edificaciones.

4. Variables predictivas: NDVI, densidad, exposición de laderas, porcentaje de superficie impermeable.

5. Variables predictivas: Exposición de laderas.

Cabe mencionar, que dado el tamaño de las muestras (pequeño), tiene mayor veracidad el porcentaje de varianza explicada por el Coeficiente de determinación R² corregido.

4.3.2 Capacidad predictiva de los modelos de regresión múltiple:

Como se observa en la Tabla N°12, los valores correspondientes al error típico, indican que la dispersión de los residuos, de las rectas de regresión o pronósticos obtenidos, es baja. Los valores asociados a las pruebas de hipótesis en tanto, muestran que para todos los horarios, los modelos en su conjunto y cada una de las variables incluidas en ellos por separado, explican de manera significativa la varianza de las temperaturas, lo cual descarta que se trate de relaciones que son producto por ejemplo, de la casualidad.

Tabla N° 12 : Resultados del análisis de la capacidad explicativa de los modelos de regresión, considerando la prueba t; F y la medida de error típico.

9:00hrs	t	p-valor de t	F	p-valor de F	Error típico
Constante	36,852	0			
NDVI	-2,677	0,028	10,775	0,005	1,233
Densidad	-3,867	0,005			
12:00hrs	t	p-valor de t	F	p-valor de F	Error típico
Constante	8,579	0			
D, a vegetación densa	-3,093	0,013	13,589	0,001	1,522
S. Construida (%)	4,255	0,002			
Elevación	-2,681	0,025			
15:00hrs	t	p-valor de t	F	p-valor de F	Error típico
Constante	15,726	0			
Elevación	-5,334	0,002			
Exposición	2,568	0,042	16,038	0,002	1,449
NDVI	-3,125	0,02			
Altura media edificios	-2,526	0,045			
18:00hrs	t	p-valor de t	F	p-valor de F	Error típico
Constante	15,303	0,000			
Exposición	6,667	0,001			
NDVI	-10,015	0,000	41,126	0,000	0,864
Densidad	-9,086	0,000			
S. Impermeable (%)	-3,853	0,008			
21:00	t	p-valor de t	F	p-valor de F	Error típico
Constante	47,733	0,000	17,513	0,002	0,623
Exposición	-4,185	0,002			

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a los supuestos a contrastar, en la tabla N°13, se observa de manera resumida, el cumplimiento o no de los mismos.

Se reconoce en ella, que el único supuesto que se cumple en todos los horarios es la independencia, por lo que es posible asumir, considerando los datos utilizados, que no hay variables relevantes excluidas, ni variables incorporadas redundantes.

No es posible, constatar normalidad de los residuos en ningún horario, esto quiere decir, que a partir de las muestras trabajadas, no es posible generalizar el comportamiento de la población con los modelos obtenidos. Considerando que el supuesto de independencia indica que no hay problemas de especificación de variables, es posible estimar, que el tamaño de las muestras y la representatividad de los datos de las variables explicativas, no han sido del todo adecuados.

Se observa que la relación entre residuos según pares de variables, es lineal sólo en algunos casos, no hay modelo en el que el conjunto de variables predictivas mantenga por completo esta condición. De lo anterior se desprende que los coeficientes obtenidos no son resultado solo de combinaciones lineales de los datos trabajados. La cantidad de datos no permite confirmar o descartar relaciones lineales y ello le resta capacidad explicativa a los modelos.

Tabla N° 13: Síntesis de los resultados obtenidos, del análisis de la validez estadística de los supuestos de regresión múltiple, por modelo.

Supuestos a validar	9:00hrs	12:00hrs	15:00hrs	18:00hrs	21:00hrs
Normalidad	Se cumple	No se cumple para alguna variable	No se cumple	No se cumple	Se cumple
Linealidad	Se cumple	Se cumple	Se cumple	Se cumple	Se cumple
Homocedasticidad	Se cumple	No se cumple para alguna variable	No se cumple	No se cumple	Se cumple
Independencia	Se cumple	Se cumple	Se cumple	Se cumple	Se cumple
No colinealidad	Se cumple	Se cumple	Se cumple	Se cumple	Se cumple
	Se cumple	No se cumple para alguna variable	No se cumple		

Fuente: Elaboración propia.

La homocedasticidad, muestra que la variación de los datos de las muestras alrededor de la línea de regresión es a las 12:00 y 15:00 hrs, en promedio la misma, lo que indica que los datos provienen de la misma población. Esta condición es cuestionable para el resto de los modelos, cuestión que reitera la presencia de problemas de especificación que impiden generalizar a la población los resultados.

Durante la mañana y noche, no se observa colinealidad entre las variables, no obstante, durante las horas de mayor insolación, las variables independientes asociadas al diseño urbano, mostraron relaciones significativas con las temperaturas pero a la vez una alta colinealidad entre ellas. La presencia de colinealidad en estos horarios, se puede observar en los coeficientes beta generados, en algunos casos sobreestimados, como aquellos que multiplican la presencia y estado de la vegetación a las 15:00 y 18:00 horas, y en coeficientes beta inestables o muy sensibles a pequeñas modificaciones en la muestra usada (por ejemplo, al eliminar un dato con residuos grandes), que pueden ser identificados por el cambio de la dirección de la relación. A las 18:00 hrs, por ejemplo, las correlaciones bivariadas muestran que la superficie impermeabilizada se relaciona de manera directa con la temperatura, mientras que en el modelo lo hacen de manera inversa.

CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.

5.1 Discusión.

Se observa que a la escala trabajada, las temperaturas promedio, menores, mayores y la diferencia entre ellas, son más altas en la ciudad en promedio 2,4; 2,2; 3,6 y 1.5 (°C), que aquellas descritas como normales para el Faro Punta Ángeles según la Dirección Meteorológica de Chile. Ello indica, que en el dosel urbano, se registran temperaturas más elevadas que las descritas por la normal, y que por tanto, el uso de datos asociados a solo un punto de medición, conlleva a que la estimación de parámetros meteorológicos que no representan las condiciones climáticas reales de la ciudad en general. Tal como señalan Mendonca & Lombardo (2009) y Oke (2010), al interior de las ciudades, los registros climáticos tienen directa relación con el entorno en el cual se sitúan los distintos sensores. El faro Punta Ángeles puede ser una estación representativa de aquellas áreas urbanizadas, contiguas o cercanas a la línea de costa, con similar diseño urbano, y expuestas además, a los vientos sinópticos de dirección suroeste, pero no lo es de otras áreas de la ciudad, sobre todo considerando la diversidad de paisajes que conviven en ella.

Independientemente a lo anterior, los resultados muestran algunas similitudes con los datos entregados por la normal. Marzo es el mes más frío, y el que muestra menores amplitudes térmicas; enero, el mes en que las amplitudes son mayores, y la variabilidad de las temperaturas durante Enero y Febrero, es muy similar.

En general, a la escala trabajada, las temperaturas más elevadas no superan los 24°C y las más bajas son superiores a los 15°C. Las primeras presentan mayor variabilidad en su comportamiento que las segundas y la amplitud térmica, si bien es más alta (8,5°C), que aquella señalada como normal (7°C) por la Dirección Meteorológica de Chile, puede aún ser considerada una amplitud típica de ciudades costeras, es decir, baja.

La variabilidad horaria de las temperaturas es alta y los registros muestran diferencias para un mismo horario que promedian los 11 °C, siendo esta diferencia más grande en las horas de mayor insolación. Lo anterior, da cuenta de cómo los distintos contextos geográficos y urbanísticos que caracterizan a la ciudad, determinan comportamientos térmicos altamente heterogéneos a escala del dosel, tal como indican Arnfield (2003), Sendiña & Pérez (2006); Molina (2007); Stewart & Oke (2009), Salamanca (2010) y

Oke (2010). En el caso de la distribución espacial de las temperaturas, estos mismos autores, señalan que su variabilidad también debería ser alta a la escala trabajada, sin embargo, ello no es posible de constatar a partir de los resultados, pues la representación gráfica de las temperaturas, en todos los horarios, muestra en general una tendencia al incremento o descenso paulatino de las temperaturas de un sector a otro de la ciudad, sin poder identificarse, la presencia de microislas de calor y/o frío, o una configuración que dé cuenta clara, de la relación de las temperaturas con variables locales, aún cuando los modelos explicativos así lo señalan. Lo anterior se atribuye a limitaciones del interpolador utilizado, cuestión que es discutida más adelante.

Se reconoce que las áreas persistentemente más frías, concuerdan con sectores caracterizados por su exposición a vientos sinópticos como es el caso del barrio universitario de Playa Ancha y a urbanización rodeada de abundante vegetación, como El Vergel, Las Torres, La Isla, Rodelillo y aeropuerto. Esto, entrega importantes indicios de que lo que señalan muchos autores respecto al viento, como Montávez *et al* (2000), Cuadrat *et al* (2005), Georgakis *et al* (2010), y Verón (2010), es correcto, y constata por otra parte, lo que Nowak & McPherson (1993), Chiesura (2004), Vilela (2004) y Escobedo *et al* (2008) entre otros, afirman en el caso de la vegetación. Ambas variables, son determinantes en la regulación de las temperaturas elevadas y contribuyen a la conformación de áreas frías al interior de la ciudad, lo que destaca la necesidad de incorporar mediciones de viento, teniendo en cuenta la condición de ciudad costera, de Valparaíso.

La localización de las áreas más cálidas en tanto, es mucho más diversa. Sin embargo durante la tarde, los resultados de la interpolación y de los modelos explicativos, indican que estas se corresponden con áreas densamente urbanizadas, en las cuales variables asociadas al diseño urbano y a la orografía, toman relevancia. Esto tanto en la tarde como en la noche, respalda lo sugerido por Oke (1987), Cuadrat *et al* (1993), Yuan & Bauer (2007), Sarricolea *et al* (2008) y Lamptey (2009).

Destaca a las 15:00 hrs, la presencia de una vasta meseta térmica que se expande más allá de los límites urbanos, tanto al Oriente como Poniente de la ciudad. La magnitud de su extensión, da cuenta de una alta homogeneidad de las temperaturas predominantemente altas y altas, lo que para Carreras *et al* (1990), es un rasgo

distintivo de las islas de calor urbanas, por lo que sería importante analizar, si se está frente a una isla de calor, o si su presencia se debe a un sesgo del interpolador.

A las 21:00 hrs, los resultados revelan la presencia de una isla de calor intraurbana nocturna, que muestra importantes similitudes con aquella identificada por Romero et al (2008). La morfología coincide con el modelo típico de islas de calor de ciudades costeras, descrito por Carreras et al (1990), según el cual, las isothermas se perfilan siguiendo la forma de la línea de costa, quedando la isoterma central, abierta en dirección al mar. La temperatura disminuye en intensidad, de forma regular desde el centro a la periferia, su núcleo coincide con la localización de las áreas más densamente urbanizadas, dadas por el centro e inmediaciones, y la quebrada Yolanda, constituye un corredor desde el cual descienden masas de aire frío, las que ocasionan la inflexión de la isoterma central, en dirección al mar por el Oriente. Contrastes importantes de destacar, son la mayor variabilidad tanto en el comportamiento como distribución espacial de las temperaturas, en el caso de la ICU observada el año 2008, lo cual puede ser explicado en razón del uso de metodologías diferentes.

Los modelos de regresión, muestran que a lo largo del día, son diversos los factores que determinan la variabilidad del clima local en la ciudad, destacando aquellos asociados a la presencia de humedad en el aire (proporción de superficie construida y presencia y estado de la vegetación) a la orografía (elevación topográfica y exposición de laderas) y morfología urbana (altura media de edificaciones).

Variables asociadas a la presencia de humedad en el aire, son las que intervienen en la variabilidad de las temperaturas de manera más drástica, cuestión que avala lo indicado por Coutts *et al* (2007). La vegetación, como concuerdan Nowak & McPherson (1993), Spronken - Smith & Oke (1999), Chiesura (2004), Yuan & Bauer (2007), Molina (2007) y Sarricolea *et al* (2008) entre muchos otros, reduce significativamente la temperatura, mientras que las coberturas que impiden la infiltración y retención de agua, la incrementan. Al interior de la ciudad, el aumentar en un 25% las áreas con vegetación en buen estado, implica disminuir las temperaturas en un promedio de 9°C, durante la mañana y tarde. La pérdida de humedad, asociada al incremento en un 20% de las superficies construidas en tanto, puede incrementarlas hasta en 3,1°C durante el mediodía.

Los rasgos geográficos vinculados al relieve, como ha destacado Cuadrat et al (2005), Wienert (2005) y Ruiz – Flaño *et al* (2008), determinan el clima local. En Valparaíso, las variables que dan cuenta de la orografía, son significativas a lo largo de casi todo el día (a excepción de la mañana) y aunque sus efectos sobre la temperatura, son mucho más moderados que aquellos asociados a la urbanización, son de suma relevancia.

Durante el mediodía y a las 15:00 hrs, la relación entre temperatura y elevación topográfica es inversa, por lo que las temperaturas descienden al aumentar la altura. Retomando las suposiciones que hace Erazo (2006), respecto a la importancia de esta variable por sobre la distancia al mar, es posible señalar que ambas variables están fuertemente correlacionadas, por lo que metodológicamente en los modelos, no fue posible considerar una sin descartar la otra, sin embargo, las correlaciones bivariadas constatan su conjetura.

En el caso de la exposición de laderas, se observa que estas favorecen tanto el aumento como descenso de las temperaturas dependiendo ello de la hora del día tal como apuntan Sarricolea & Romero (2009). Son relevantes a las 18:00 y 21:00 hrs, horarios en los cuales las laderas de exposición norte, pueden incrementar en un promedio de 1,6°C la temperatura, mientras que aquellas con orientación sur, reducirla hasta en 0,5°C.

En el modelo de las 15:00 hrs, se constata lo señalado por Oke (1987), Spronken – Smith & Oke (1999), Lindberg *et al* (2003), Arnfield (2003) y Grimmond (2007), respecto al rol de la morfología urbana en la variabilidad de las temperaturas. En Valparaíso, sectores caracterizados por un diseño urbano en donde predominan los edificios de altura, pueden ser hasta 2,7°C más fríos que aquellos sectores en donde los edificios son más bajos. El horario en que esta variable aparece como significativa, indica que el descenso en la temperatura tiene relación con el menor acceso de luz solar durante el día y con el efecto de las sombras.

5.2 Discusión metodológica.

La interpolación de datos, presenta la ventaja de obtener información continua a partir de muestras. El kriging ordinario a su vez, permite obtener errores de predicción más pequeños que otros interpoladores, al considerar no solo la distancia de un punto al valor muestral, sino que también, la correlación espacial que existe entre los valores de los puntos, considerando además, la dirección. Sin embargo, en materia de clima urbano, se reconoce y los resultados así lo confirman, que la temperatura atmosférica, es producto de relaciones múltiples, es decir, su variabilidad está fuertemente influenciada por la acción conjunta de muchos otros factores, que pueden cambiar substancialmente a lo largo del día y de un lugar a otro. La correlación entre distancia y dirección de los puntos de medición, por tanto, resulta una medida insuficiente para la representación espacial de las temperaturas, pudiendo incluso alterarla, al utilizar un criterio de diferenciación, que no se corresponde necesariamente con las variables o factores que realmente determinan la variabilidad espacial en un área u otra. Esto es especialmente importante, pues puede llevar a hacer suposiciones sesgadas y/o erradas.

Considerando lo anterior, la representación espacial de la temperatura, requiere de metodologías que tengan la versatilidad de incorporar variables que sean representativas de distintos contextos geográficos y urbanísticos. En el caso de Valparaíso, los modelos explicativos, muestran que la presencia y estado de la vegetación, proporción de superficies construidas, altura promedio de las edificaciones, elevación topográfica y exposición de laderas, son factores que deben ser considerados en futuros análisis espaciales del campo térmico de la ciudad. En este escenario, el uso de estadística inferencial, permite no solo explicar la variabilidad térmica de las temperaturas, sino que también, en un futuro podría permitir representarlas espacialmente de manera más fidedigna. Presenta la ventaja además, de ser una metodología en la cual tiene cabida en cada paso metodológico, el criterio de quien la utiliza, lo que resulta muy útil para identificar sesgos en los modelos, cuando el tamaño de las muestras por ejemplo, limita la representación de determinadas variables.

Considerando lo anterior, es preciso hacer mención a la necesidad de incrementar las mediciones de temperatura a escala del dosel. Al respecto, los resultados expuestos,

indican que en la localización de nuevas estaciones, deberían considerarse las variables señaladas y dada la importancia que los modelos dan a la orografía, es que correspondería considerar a las cuencas hidrográficas, como las unidades ambientales estructurantes. Esto requiere de un número de estaciones que en conjunto, logren dar cuenta del comportamiento térmico de las cuencas al menos más representativas, y que permitan validar a la vez, los resultados.

Respecto al modelo de Zonas Climáticas Termales, es posible afirmar, que constituye una valiosa herramienta metodológica, para obtener información de variables urbanas relevantes en la modificación del balance energético en la ciudad, de manera remota. Como modelo, destaca el hecho de que da representatividad a variables que expresan la especificidad de un paisaje, sin perder con ello, su condición de modelo, sin embargo, el clima local de la ciudad, requiere de la representación no sólo de sus componentes artificiales, sino que también de aquellas variables geográficas y climáticas que lo determinan. Estas variables pueden ser muy diversas y difícilmente modelables. En Valparaíso, la elevación topográfica y exposición de laderas, son variables determinantes que no pueden ser representadas por modelos universales, por otra parte la presencia de vegetación, no concuerda necesariamente, con los porcentajes considerados para las distintas ZCT, justamente porque en el caso de la ciudad, su presencia está determinada en general, por la exposición de distintas pendientes y por los fondos de quebradas, y no por la implementación de áreas verdes, que constituyan parte de una urbanización planificada. En razón a ello, la adaptación hecha al modelo por Irarrázabal (2010), ha sido de gran utilidad para dar representatividad a las formaciones de vegetación densa localizada sobre quebradas, y si bien no es posible atribuirle valores comparables a otras zonas climáticas, sí ha sido posible incorporarla, como una variable anexa a las que propone el modelo (distancia a formaciones de vegetación densa).

Respecto a los resultados obtenidos de los modelos explicativos, se observa que la densidad de población, porcentajes de superficie impermeable y distancia a formaciones de vegetación densa, se relacionan con la temperatura de manera opuesta a lo que señala la literatura. Cada caso es discutible, principalmente por razones metodológicas, en donde destaca el tamaño de las muestras y la representatividad de las variables asociada a la escala de análisis.

En el caso de la densidad de población, Wienert (2005) y Sarricolea (2008), mencionan que altas densidades de población, favorecen el aumento de las temperaturas por concepto de uso de energía. Los resultados sin embargo, indican que en Valparaíso las temperaturas descienden en las áreas más densamente pobladas durante la mañana (9:00hrs) y tarde (18:00hrs). Esto puede tener su explicación, en que tal como indican Oke (1987) y Coutts *et al* (2007), la función que mejor representa la relación de esta variable con la temperatura, no es lineal, sino que exponencial, relación que no ha podido ser comprobada por los gráficos de dispersión ni por la prueba t debido al tamaño de la muestra. También hay que considerar problemas de representatividad de la variable dada la escala trabajada. Si bien Oke (1987), señala que ciudades con mayores montos de población reflejan en general, mayores consumos de energía y mayores temperaturas, ello no necesariamente se puede reflejar por medio de esta variable, pues los consumos de energía dependen de la capacidad adquisitiva de las personas, de su movilidad y rutinas, factores que difieren mucho de una cultura a otra. Una cosa no refleja inevitablemente la otra, por lo que la densidad de población, para análisis a escalas más detalladas, se convierte en una variable redundante, que puede llevar a resultados confusos, cuando lo que se busca en realidad, es dar cuenta de los cambios en el balance de energía, asociados al mayor o menor consumo energético. En cualquier caso, sería adecuado reevaluarla, pues no se puede descartar que efectivamente favorezca el descenso de la temperatura considerando las coberturas aledañas, dando cuenta con ello de un proceso sumamente particular.

Para los porcentajes de superficie impermeable, los resultados indican que su relación con la temperatura es directa, tal como han sugerido Yuan & Bauer (2007) y Zhang *et al* (2008), sin embargo, en el modelo de las 18:00hrs, es inversa. El cambio en la dirección de la relación entre variables, se atribuye a problemas de colinealidad, los que generan estimadores del coeficiente, sensibles en su magnitud y signo a pequeñas modificaciones en las muestras. Surge aquí, una limitante común en la inferencia estadística, importante de considerar en trabajos futuros. Los valores extremos de las muestras, generan residuos grandes que restan capacidad explicativa a los modelos por lo que deben ser eliminados. Por tanto, para que puedan ser representados, se necesita de muestras de mayor tamaño. Considerando aquello, es posible afirmar que la variable es relevante en la variabilidad de las temperaturas, pero es preciso reevaluarla.

Lo que ocurre con la distancia a formaciones de vegetación densa, puede ser explicado por la falta de representatividad que tuvo la variable, considerando la orografía. Tanto en las relaciones bivaridas (a excepción de la noche), así como en el modelo explicativo de las 12:00 hrs, se observa que al aumentar la distancia a formaciones de vegetación densa, la temperatura disminuye, lo que parece fuera de lógica, considerando lo expuesto por Honjo & Takakura (1991), Nowak & McPherson (1993), Ruiz – Flaño *et al* (2008), Zhang *et al* (2008), Sarricolea *et al* (2008) y Romero *et al* (2008). Sin embargo, hay que considerar que en el área de estudio, coincide la localización de las formaciones de vegetación densa, con los fondos de grandes quebradas, por lo que, sólo aquellos sensores localizados dentro de las cuencas o en áreas en donde la orografía no haya constituido un obstáculo, pueden haber mostrado alguna relación estadística real con la variabilidad de las temperaturas. Es de suponer además, que el flujo de las masas de aire en las quebradas, al seguir una trayectoria distinta al de aquellas ubicadas sobre sectores planos, puede estar adicionalmente condicionando el cumplimiento de las relaciones teóricas esperadas, lo que reitera la necesidad de incorporar la intensidad y dirección del viento, en estudios futuros.

En cuanto a la capacidad explicativa y predictiva general de los modelos de regresión, los resultados muestran que en cada horario, se explica satisfactoriamente la variación de las temperaturas, considerando los rangos de valores que han definido a las muestras de las variables independientes, y aunque a partir de ellos no es posible generalizar, es preciso tener en cuenta, que los bajos errores típicos de estimación que les definen, indican que lo anterior se explica en gran medida por el tamaño y representatividad de las muestras, por lo que las posibilidades de confirmar la hipótesis de que las variables incorporadas son y seguirán siendo relevantes al modificarlas, ya sea agregando datos, o seleccionando datos nuevos, son mayores a las posibilidades de que los resultados lleven a descartarla. En base a lo anterior, es posible afirmar que los modelos obtenidos son referencialmente buenos y que constituyen un aporte a la investigación y simulación de escenarios futuros de la variabilidad del campo térmico de la ciudad.

Respecto al contraste entre el análisis espacial de las variables evaluadas y los modelos de regresión generados, es importante destacar que este paso metodológico, otorga importante información, respecto a la presencia de variables que deben ser

reevaluadas en la explicación de la variabilidad de las temperaturas en la ciudad, como son, distancia al mar en el caso de los modelos de las 9:00 y 21:00 hrs, , exposición de laderas al mediodía, flujo de calor antropogénico a las 15:00, 18:00 y 21:00 hrs y elevación topográfica, así como aquellas variables que dan cuenta de la morfología y presencia de humedad en el ambiente, a las 21:00 hrs. De lo anterior se desprende, que el análisis espacial complementario de las variables, constituye una valiosa herramienta propia de la geografía, para el estudio de la complejidad de las problemáticas ambientales urbanas, lo que en materia de investigación, constituye una ventaja, pues permite mejorar las metodologías, plantear nuevos desafíos y alcanzar resultados más representativos de la realidad.

5.3 Conclusiones y recomendaciones

El contraste de los resultados con la hipótesis planteada, muestra que efectivamente Valparaíso a pesar de su capital ambiental, replica patrones que son propios de áreas urbanas, caracterizadas por un fuerte deterioro de sus capacidades de regulación térmica. Entre las relaciones vinculantes que se establecen, variables como la presencia y estado de la vegetación, así como la proporción de superficie construida, la cual se asocia a la impermeabilización de los suelos, son determinantes en la variabilidad de las temperaturas atmosféricas a escala del dosel, y mientras la primera, actúa favoreciendo el descenso de las mismas en un promedio de 9°C durante la tarde, la segunda, las incrementa hasta en 3,1 °C. Lo anterior, favorece que el Plan o centro de la ciudad, a pesar de su cercanía al mar, concentre las más altas temperaturas sobre todo durante la tarde y noche, mientras que sectores con urbanización escasamente desarrollada y rodeada de formaciones de vegetación densa y dispersa, localizadas en la periferia sur y suroriente, como El Vergel, Las Torres, La Isla, Rodelillo y Aeropuerto, sean persistentemente más frías.

Respecto a la alta variabilidad esperada, tanto en el comportamiento como distribución espacial de las temperaturas, es posible afirmar, que la hipótesis se cumple sólo en el caso del comportamiento térmico observado. En un mismo horario, es posible identificar altas amplitudes térmicas, sobre todo en las horas de mayor insolación, momento en que la diferencia entre áreas cálidas y frías, promedia los 11, 3°C. La variabilidad de la distribución espacial en tanto, es baja, se reconoce para todos los

horarios analizados, la tendencia a una distribución dominante, en donde las temperaturas decrecen o incrementan sus registros de manera paulatina de un sector a otro de la ciudad, sin observarse núcleos cálidos o fríos que den cuenta de la presencia de archipiélagos o micro islas de calor y/o frío. En general, rasgos geográficos y/o urbanos, que definen microclimas a la escala trabajada, no son espacialmente perceptibles, y la influencia de las variables que los modelos destacan, como son, presencia y estado de la vegetación, superficie construida, exposición de laderas y elevación topográfica, se aprecian a una resolución muy baja, el efecto de la altura promedio de las edificaciones en tanto, espacialmente no se distingue. A pesar de lo anterior, y considerando las discusiones metodológicas hechas, es posible sostener que se está frente a un problema de representatividad espacial de las variables geográficas y urbanas, por lo que, la baja variabilidad espacial de las temperaturas, es parte de los resultados que deben ser contrastados.

Considerando que la hipótesis se valida casi en su totalidad, es posible sostener que las ventajas comparativas de la ciudad, son hoy frágiles ante la política que define la planificación urbana en la ciudad y en tal sentido, e independientemente del capital ambiental que le caracteriza, Valparaíso tiene ventajas comparativas que resguardar, sobre todo considerando los cambios en coberturas y usos de suelo, previstos por el PREMVAL.

La complejidad de relaciones que determinan la variabilidad de las temperaturas, sugiere que en el futuro, la representación continua de las mismas, considere metodologías que faciliten la inclusión y análisis de diversas variables. En tal sentido, métodos de inferencia que puedan incorporarlas, como la regresión múltiple, aparecen como herramientas más adecuadas frente a interpoladores usualmente utilizados como el *kriging*. Esto requiere ineludiblemente, de la implementación de nuevas estaciones meteorológicas, que logren representar las variables que los modelos destacan, dando especial importancia a la orografía, a la consideración de la escala y a variables que no han sido posibles de incorporar en ésta investigación como son la dirección e intensidad de los flujos de viento. Como se ha destacado en la discusión de resultados, el viento interviene en la relación de la temperatura con variables relevantes, como son la presencia y estado de la vegetación, distancia a formaciones de vegetación densa y altura media de los edificios, por lo que su inclusión permitiría despejar dudas y hacer un mejor análisis del comportamiento térmico que se genera

en las quebradas, del rol de las mismas como canalizadoras de masas de aire, y del efecto de las actuales políticas de urbanización en altura. Asimismo, el reconocimiento de la isla de calor intraurbana observada a las 21:00 hrs, insta a considerar en la localización de nuevas estaciones, a la periferia urbana y zonas rurales circundantes para poder definir su intensidad y conocer mejor su variabilidad.

Se reconoce la importancia de poder establecer relaciones más concluyentes entre la variabilidad de las temperaturas y la localización de la población más vulnerable, para ello se requiere no solo de la validación estadística de futuros modelos explicativos y predictivos, sino que también de la validación espacial de los mismos, por medio del uso de datos que no sean utilizados en la construcción de los modelos.

Los esfuerzos dirigidos a destinar recursos para el registro de nuevos datos, podrían ser muy provechosos, para proyectar escenarios futuros de variabilidad climática asociada a un cambio climático a una mayor escala, no solo en Valparaíso, sino que también en otras áreas urbanas, ya que Valparaíso, es una ciudad representativa de muchos otros escenarios de vulnerabilidad urbana, y su localización en un área de transición climática, la convierte en un buen referente de la evolución del clima si es que de ella, se tienen antecedentes.

Para una planificación urbana, que incorpore el clima local, se sugiere poner especial atención al crecimiento futuro estimado de la ciudad, atendiendo a las variables descritas, a la consideración de áreas propensas a concentrar temperaturas extremas y a su relación con la localización de población especialmente vulnerable. El tratamiento estratégico de variables urbanas y geográficas del paisaje y el reconocimiento de áreas a resguardar y gestionar, es el modo de aprovechar las ventajas comparativas que ofrece el marco en el cual se sitúa la ciudad. En tal sentido, se reconoce que la ecología del paisaje, constituye un valioso enfoque para abordar la complejidad de las problemáticas ambientales asociadas al clima, identificando las relaciones entre sus componentes, que determinan su funcionamiento, reestructuración y por tanto su dinámica. La geografía al respecto, puede integrar conocimiento, y en esa línea contribuir a evaluar y a implementar metodologías que favorezcan el análisis integrado de las problemáticas socioambientales, para que sean consideradas en la gestión y planificación urbana dada su significancia.

BIBLIOGRAFÍA

- AKBARI, H; POMERANTZ, M; TAHA, H. 2001. "Cool Surfaces and Shade Trees to Reduce Energy Improve Air Quality in Urban Areas". Solar Energy. Vol. 70, N° 3. pp. 295–310.
- ANTROP, M. 2000. "Background concepts for integrated landscape analysis". Agriculture, Ecosystems and Environment. N° 77. Pp. 17 – 28.
- ANTROP, M. 2005. "Why landscapes of the past are important for the future". Landscape and Urban Planning. N° 70. Pp. 21 – 34.
- ANTROP, M. 2006. "From Landscape Research to Landscape Planning: Aspects of Integration, Education and Application". Chapter 3. Springer.
- ARNFIELD, A. 2003. "Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island". International Journal of Climatology. N°23. Pp. 1 – 26.
- ASAMBLEA GENERAL DE LAS NACIONES UNIDAS. 1986. "Resolución 41/128 sobre el derecho al desarrollo".
- AUER, A. 1978. "Correlation of land use and cover with meteorological anomalies". Journal of Applied Meteorology. Vol. 17. Pp. 636 – 643.
- BARRIOS, J. 2012. "Evaluación de los ecosistemas del milenio de España". Sección III: Evaluación de los tipos operativos de ecosistemas. Capítulo 18: Urbano. Universidad Autónoma de Madrid. Departamento de Ecología. Pág. 9. Disponible en: <http://www.ecomilenio.es/wp-content/uploads/2012/03/18-Urbanos-web.pdf>
- BOLUND, P; HUNHAMMAR, S. 1999. "Ecosystem services in urban areas". Ecological Economics N° 29. Pp. 293 – 301.
- CALVENTE, A. 2007. "El concepto moderno de sustentabilidad". Centro de Altos Estudios Globales. Universidad Abierta Interamericana.

- CAPELLI DE STEFFENS, A; PICCOLO, M; HERNANDEZ, J; NAVARRETE, G. 2001. "La isla de calor estival en Temuco, Chile". Papeles de Geografía. N°33. Pp. 49 – 60.
- CARRERAS, C; MARIN, M; VIDE, J; SABI, J. 1990. "Modificaciones térmicas en las ciudades, avances sobre la isla de calor en Barcelona". Documentos de Análisis Geográfico. N°17. Pp. 51 – 77.
- CASTRO, M; GONZALES, R; PORTELA, A. 1991. "Parametrización de la capa límite atmosférica en los modelos numéricos de pronósticos meteorológicos". Revista Física de la Tierra. N°3. Pp 103 – 138.
- CHAO, R; YAN – YUN, E; LUTZ, K. 2010. "Urban climate maps studies: A review". International Journal of Climatology. Vol. 31. Pp. 2213 – 2233.
- CHIESURA, A. 2004 "The role of urban parks for the sustainable city". Landscape and Urban Planning. Vol. 68. Pp. 129 – 138.
- CHUVIECO, E. 2002. "Teledetección Ambiental: La observación de la Tierra desde el espacio". Capítulo II. Ariel. P. 47.
- COLDING, J. 2006. "Ecological land use complementation for building resilience in urban ecosystems". Landscape and Urban Planning. doi:10.1016/j.landurbplan.2006.10.016.
- COUTTS, A; BERINGER, J; JIMMI, S; TAPPER, N. 2007."The urban heat island in Melbourne: drivers, spatial and temporal variability, and the vital role of stormwater".
- CUADRAT, J; DE LA RIVA, J; LOPEZ, F; MARTI, A. 1993. "Ciudad y medioambiente: La isla de calor de Teruel". Geographica. N°30. Pp. 113 – 123.
- CUADRAT, J; VICENTE – SERRANO, S; SAZ, M. 2005." Los efectos de la urbanización en el clima de Zaragoza: La isla de calor y sus factores condicionantes". Boletín de la A.G.E. N° 40. Pp. 311 – 327.
- DAVENPORT, A; GRIMMOND, S; OKE, T; WIERINGA, J. 2000. "Estimating the roughness of cities and sheltered country". 12th American Meteorological Society Conference on Applied Climatology.

- DE MATTOS, C. 1999. "Santiago de Chile, globalización y expansión metropolitana: Lo que existía sigue existiendo". EURE. Volumen 25. N°76. Pp.
- DE MATTOS, C. 2002. "Santiago de Chile de cara a la globalización: ¿Otra ciudad? Revista de Sociología e Política. N°19. Pp. 31 – 54.
- DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA UNIVERSIDAD DE CHILE, DGF. 2006."Estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo XXI". Comisión Nacional del Medioambiente (CONAMA). Santiago. Chile.
- DIRECCIÓN METEOROLÓGICA DE CHILE. 1991. "Datos normales de precipitación, temperatura media, temperatura mínima media y temperatura máxima media, 1961 – 1990". Disponibles en http://www.atmosfera.cl/HTML/datos/datos_02.html
- DIRECCIÓN METEOROLÓGICA DE CHILE. 2011. Descripción meteorológica Región de Valparaíso. Disponible en: http://www.meteochile.cl/climas/climas_quinta_region.html
- ELIASSON, I. 1999. "The use of climate knowledge in urban planning". Landscape and Urban Planning. N° 48. Pp. 31 – 44.
- ERAZO, S. 2006. "Análisis y características de la temperatura atmosférica del territorio continental e insular de la V región de Chile. Revista Geográfica de Valparaíso. N°37. Pp. 7 – 15.
- ESCOBEDO, F; WAGNER, J; NOWAK, D; LUZ DE LA MAZA, C; RODRIGUEZ, M; CRANE, D. 2008." Analysing the cost effectiveness os Santiago Chile´s policy os using urban forest to omprove air quality". Journal of Environmental Management. Vol. 86. Pp. 148 – 157.
- FERNÁNDEZ – GARCÍA. 1995. "Manual de Climatología Aplicada". Colección Espacios y Sociedades. Editorial Síntesis. Madrid.
- GALLO, K; OWEN, T. 1999. "Satellite based adjustments for the urban heat island temperature bias". Journal of Applied Meteorology. N°3. Pp. 806 – 813.
- GARNIER, J. P. 1976. "Planificación urbana y neocapitalismo". GeoCrítica. Año I. N°6.

- GEORGAKIS, C; SANTAMOURIS, M; KAISARLIS, G. 2010. "The vertical stratification of air temperature in the center of Athens". Journal of Applied Meteorology and Climatology. Vol. 49. Pp. 1219 – 1232.
- GUIJARRO, J. 1998."Influencia de la urbanización en las series termométricas de Baleares". IV Reunión de Climatología: El clima y el factor urbano. Madrid. 27 – 28 Febrero. Pp. 305 – 314.
- GRIMMOND, S; OKE, T. 1998. "Heat storage in urbana areas: Local scale observation and evaluation of a simple model". Journal of Applied Meteorology. Vol. 38. Pp. 922 – 940.
- GRIMMOND, S. 2007."Urbanization and global environmental change: Local effects of urban warming". TheGeographicalJournal. Vol. 173. Pp. 83 – 88.
- HERRERA, H. 2009. "¿De qué hablamos cuando hablamos de Estado?: Ensayo filosófico de justificación de la praxis política. Instituto de Estudios de la Sociedad, IES.
- HIDALGO, H; DE MATTOS, C; ARENAS, F. 2009. "Chile: del país urbano al país metropolitano". Revista de Geografía Norte Grande. N°44. Pp. 149 – 153.
- HONJO, T; TAKAKURA, T. 1991. "Simulation of thermal effects or urban green areas of their surrounding areas". Fourth International Conference on Urban Climate Planning and Building. Kyoto. Japan. Energy and Building N°15. Pp. 3 - 4.
- ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE VALPARAÍSO. 2011. "De cómo Valparaíso pasó a ser Patrimonio de la Humanidad". Disponible en: http://www.ciudaddevalparaiso.cl/inicio/patrimonio_historia_sxxi.php?id_hito=53
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS. 2004. "Chile: Estimaciones y Proyecciones de Población por sexo y edad. País urbano y rural 1990 – 2020".
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS. 2008. "Población y Sociedad: Aspectos Demográficos".
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS. 2011. "Atlas Interactivo" Disponible en: http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/censos_poblacion_vivienda/censo2002/mapa_interactivo/mapa_interactivo.htm

- IPCC. 2007. "Resumen técnico. Cambio Climático 2007: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Aportes del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático". Reino Unido.
- IPCC. 2007. "Cambio climático 2007: Informe de síntesis: Contribuciones de los grupos de trabajo I, II y III, al cuarto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático". Ginebra. Suiza.
- IPCC. 2007. "Summary for policymakers in Climate Change 2007: The Physical Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change."
- IRARRAZABAL, F. 2010. "Clasificación y evaluación ambiental de zonas termales en el transecto entre las comunas de Pudahuel y Las Condes y su relación con el mercado inmobiliario". Memoriaparaoptar al título profesional de Geógrafo.
- JO, M; LEE, K; JUN, B; KWON, B; JO, Y. 2001. "The spatial topographic of urban surface temperature using remotely sensed data and GIS". 22nd Asian Conference on Remote Sensing. Singapore.
- KUSAKA, H. 2008. "Recent progress in urban climate study in Japan". Geographical Review of Japan. Vol. 81. N°5. Pp. 361 – 374.
- LAMPTEY, B. 2009. "An analytical framework for estimating the urban effect on climate". International Journal of Climatology. Vol. 30. Pp. 72 – 88.
- LINDBERG, F; ELIASSON, I; HOLMER, B. 2003. "Urban geometry and temperature variations". Fifth International Conference of Urban Climate. September 1 - 5. Lodz. Poland. 4p.
- LINÉS, A. 1996. "Contribución al concepto de clima". Territoris. N°1. Pp. 201 – 213.
- MARÍN, C. 2004. "Regresión lineal, correlación lineal simple y correlación de rangos de Spearman y Kendall". Cátedra de epidemiología. Escuela de salud pública. Universidad de Costa Rica.

- MENDONCA, F. 2009. "Urban heat and urban cold islands: Influences of vegetation and soil surface in some cities, southern Brazil". The seventh international Conference of urban Climate. Yokohama, Japan.
- MENDOCA, M; LOMBRADO, M. 2009. "El clima urbano en ciudades subtropicales costeras Atlánticas: El caso de la conurbación de Florianópolis". Revista de Geografía Norte Grande. N°44. Pp. 129 – 141.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. 2007. "El libro verde del medio ambiente urbano". España.
- MOLINA, M. 2007. "Efectos de los tipos de urbanización asociados al crecimiento urbano del área Metropolitana de Santiago sobre la generación y comportamiento de micro islas de calor". Memoria para optar al título profesional de Geógrafo.
- MONTÁVEZ, J; RODRÍGUEZ, A; JIMENEZ, J. 2000. "A study of the urban heat island of Granada". International Journal of Climatology. N°20. Pp. 899 – 911.
- MOREANO, R. 2008. "Sistema de información para la interpolación espacial y temporal de datos sobre el tiempo atmosférico y el clima del Ecuador". Memoria de título para optar al grado de Ingeniero Civil Ambiental.
- MORENO, M.1999. "Climatología Urbana". Textos docentes. Departamento de geografía física y análisis geográfico regional. Ediciones Universidad de Barcelona. 1ª edición.
- MORILLO, J; POZO, J; PÉREZ, F; RODRÍGUEZ, M; REBOLLO, F. 2002. "Análisis de calidad de un modelo digital de elevaciones generado con distintas técnicas de interpolación". XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. España. 5 – 7 Junio.
- NOWAK, D; MCPHERSON, E. 1993. "Cuantificación del impacto ambiental de los árboles en Chicago". Depósito de documentos de la FAO.
- OKE, T. 1987. "Boundary Layer Climate". Routledge. Second edition.
- OKE, T. 2010. "The distinction between canopy and boundary layer urban heat island". Atmosphere. Vol. 14. Number 4. Pp. 266 – 277.

- PALOMO, J. 2011. "Regresión lineal múltiple". Material de clase. Disponible en <http://ocw.upm.es/estadistica-e-investigacion-operativa/introduccion-a-la-estadistica-basica-el-diseno-de-experimentos-y-la-regresion-lineal/contenidos/Material-de-clase/Regresion-lineal-multiple.pdf>

- PAPARELLI, A; KURBAN, A; CONSULO, M. 2011. "Isla de calor y ocupación espacial urbana en San Juan: Análisis evolutivo". Cuadernos de Vivienda y Urbanismo. Volumen IV. Nº7. Pp. 110 – 120.

- PAULEIT, S; ENNOS, R; GOLDING, Y. 2005. "Modeling the environmental impacts on urban land use and land cover change: A study in Merseyside". Landscape and Urban Planning. Nº 71. Pp. 295 – 310.

- PIGEON, G; LEMONSU, A; GRIMMOND, S; DURAND, P; THOURON, O; MASSON, V. 2007. "Divergence of turbulence fluxes in the surface layer: The case of a coastal city". BoundaryLayerMeteorology. Nº124. Pp. 269 – 290.

- PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE. 1972. "Declaración de las Naciones Unidas sobre el medio humano". Capítulo I. Primera parte. Estocolmo. Suecia. Disponible en <http://www.pnuma.org/docamb/mh1972.php>

- QUEVEDO, K; SÁNCHEZ, K. 2009. "Comparación de dos métodos de interpolación para la estimación de la temperatura del aire, aplicando técnicas geo-estadísticas". Revista Peruana Geo – Atmosférica, RPGA Nº1. Pp. 90 – 107.

- ROMERO, H; ROJAS, J. 2003. "Conceptos básicos sobre medioambiente y desarrollo sustentable". Capítulo XII.

- ROMERO, H; VÁSQUEZ, A. 2005. "La comodificación de los territorios urbanizables y la degradación ambiental en Santiago de Chile". Scripta Nova. Vol. 9. Nº 194.

- ROMERO, H; MOLINA, M; MOSCOSO, C; SARRICOLEA, P; SMITH, P; VÁSQUEZ, A. 2007. "Caracterización de los cambios de usos y coberturas de suelos causados por la expansión urbana de Santiago, análisis estadístico de sus factores explicativos e inferencias ambientales".

- ROMERO, H; MOLINA, M; VÁSQUEZ, A; SMITH, P. 2008. "El clima urbano del puerto de Valparaíso: Construcción social del espacio en ciudades costeras". Revista da Faculdade de Letras. Universidade do Porto. Vol. II. Pp. 103 – 122.
- RUIZ – FLAÑO, P; ROMERO, L; MÁYER, P; HERNÁNDEZ, A. 2008. "La isla de calor en Las Palmas de Gran Canaria: Intensidad, distribución y factores condicionantes". Boletín de la A.G.E. N°47. Pp. 157 – 173.
- SALAH, A. 2011. "Impacts of urban expansion on surface temperature in Baghdad, Iraq, using remote sensing and GIS techniques". Canadian Journal on Environmental Construction and Civil Engineering. Vol. N°8. Pp. 193 – 202.
- SALAMANCA, F. 2010. Desarrollo de modelos numéricos para investigar la isla de calor en ciudades y estudio de la sensibilidad de distintos parámetros urbanos". Tesis para optar al grado de doctor. Madrid.
- SAAVEDRA, C; BUDD, W; LOVRICH, N. 2012. "Assessing resilience to climate change in US cities". Urban Studies Research. Article ID 458172. 10 pág.
- SANDOVAL, G. 2009. "Análisis del proceso de cambio de uso y cobertura del suelo en la expansión urbana del Gran Valparaíso, su evolución y escenarios futuros." Memoria para optar al título profesional de Geógrafo.
- SANTONI, M. 2009. "Ecosistema urbano – psicología: Interacciones espacio – subjetividad". Multequina N° 18. Pp. 117 – 127.
- SARRICOLEA, P. 2008. "Análisis de la sustentabilidad del crecimiento urbano de la ciudad de Santiago y sus efectos sobre la configuración de las temperaturas superficiales". Tesis para optar al grado de Magister en Geografía con mención en recursos naturales".
- SARRICOLEA, P; ROMERO, H. 2009. "Análisis de los factores condicionantes sobre las temperaturas de emisión superficial en el Área Metropolitana de Valparaíso". A.C.E. N°14. Pp. 79 – 96.
- SARRICOLEA, P; ALISTE, E; CASTRO, P; 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. Vol. N°8. Pp. 71 – 84.

- SECRETARÍA DE PLANIFICACIÓN Y TRANSPORTE (SECTRA). 2010. “Vectorización de imágenes de alta resolución”. Solicitud de imagen y coberturas en: http://www.subtrans.gob.cl/transparencia/solicitud_informacion.html
- SENDIÑA, I; PEREZ, V. 2006 “Fundamentos de Meteorología”. Universidad de Santiago de Compostela: Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico. Capítulo I. 194 p.
- SLOWING, K. 2011. “El retorno del Estado a la agenda de desarrollo: ¿Modernizar el estado?, ¿para qué y para quienes?. Seminario Internacional: El estado del debate sobre la modernización del Estado en América Latina. Montevideo.
- SMITH, P. 2007. “Evolución espacial y temporal de localidad ambiental del paisaje de los humedales de Concepción entre 1975 y 2006: Efectos ambientales provocados por la urbanización”. Memoria para optar al título profesional de Geógrafo. Universidad de Chile.
- SPROKEN – SMITH, R; OKE, T. 1999. “Scale modeling of nocturnal cooling in urban parks. Boundary Layer Meteorology. N°93. 287 – 312.
- STANLEY, B; LORENZO, L. 2006. “Elementos de vitivinicultura de precisión”. Instituto de investigaciones agropecuarias. Boletín INIA N°126. Capítulo IV. Pp. 61 – 71.
- STEWART, I; OKE, T. 2009. “Classifying urban climate field sites by local climate zones: The case of Nagano japan”. Seventh International Conference on Urban Climate. 29 June – 3 July. Yokohama. Japan. 5p.
- TOPALOV, C. 1979. “La urbanización capitalista: algunos elementos para su análisis”. Ed. Edicol. México.
- TORO, G; MELO, C. 2009. “Aplicación de métodos de interpolación geoestadísticos para la predicción de niveles digitales de una imagen de satelital con líneas perdidas y efecto sal y pimienta”. Tecnura N°24. Pp. 57 – 69.
- TURNER, M. 2005. “Landscape ecology: What is the state of the science?. Annual Review of Ecology, Evolution and Systematic. Vol. 36. Pp. 319 – 344.

- VALADÉS, D. 2010. "Apuntes sobre la formación del concepto de estado". Biblioteca jurídica virtual del Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM. Disponible en: <http://biblio.juridicas.unam.mx/libros/6/2834/20.pdf>.
- VARGAS, A; SANTOS, A; CÁRDENAS, E; OBREGÓN. 2011. "Análisis de la distribución e interpolación espacial de las lluvias en Bogotá, Colombia". Dyna N° 167. Pp. 151 – 159.
- VÁSQUEZ, A; ROMERO, H. 2007. "El libre mercado de las áreas urbanas y la falta de justicia ambiental en la disponibilidad de áreas verdes en Santiago de Chile". IX Coloquio Internacional de Geocrítica. Porto Alegre. 28 Mayo – 1 Junio.
- VERÓN, E. 2010. "Estimación de la isla de calor en Santa Teresita, partido de la costa, provincia de Buenos Aires, Argentina". Revista Geográfica de América Central. N°45. Pp. 129 – 148.
- VILELA, J. 2004. "Distribución del arbolado urbano en la ciudad de Fuenlabrada y su contribución a la calidad del aire". Revista Ciudad y Territorio. N°36. Pp. 419 – 427.
- VILLATORO, M; HENRÍQUEZ, C; SANCHO, F. 2008. "Comparación de los interpoladores IDW y Kriging en la variación espacial de Ph, Ca, CICE y P del suelo". Agronomía Costarricense N°32. Pp. 95 – 105.
- VOOOTH. J.2008. "Urban heat island: Hotter cities". Disponible en <http://www.actionbioscience.org/esp/ambiente/voogt.html>.
- WIENERT, U; KUTTLER, W. 2005. "A dependence of the urban heat island intensity on latitude: A statistical approach". Meteorologische Zeitschrift. Vol. 14. N° 5. Pp. 677 – 686.
- WOOD, R; HANDLEY, J. 2001. "Landscape dynamics and the management of change". Landscape Research. N° 26. Pp. 45 – 54.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. 2011. "Guide to Climatological Practices". WMO N° - 100. Chapter 1.

- YUAN, F; BAUER, M. 2007. "Comparison off impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat Imagery". Remote Sensing of Environment. Nº 106. Pp. 375 – 386.
- ZHANG, Z; JI, M; SHU, J; DENG, Z; WU, Y. 2008. "Surface urban heat island in Shanghai, China: Examing the relationship between land surface temperature and impervious surface fraction derived from Landsat ETM+ Imagery". The international Achieves of Photogrammetric, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. 37. Pp. 601 – 606.
- ZUNINO, H. 2006. "Power relations in urban decision making: Neoliberalism, techno-politicians and authoritarian redevelopment in Santiago". Urban Studies. Nº 43. Pp. 1825 – 1846.

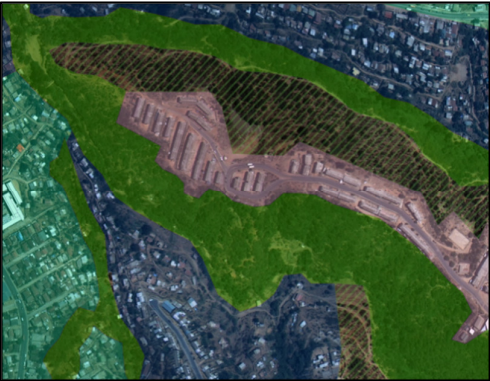

ANEXOS.

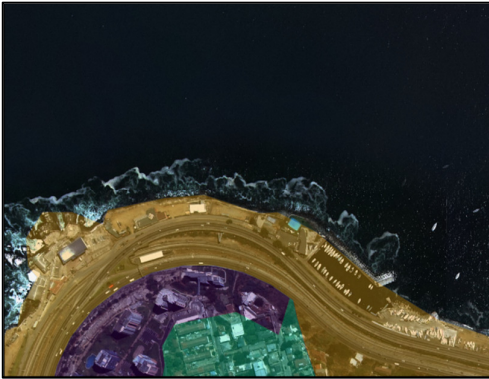


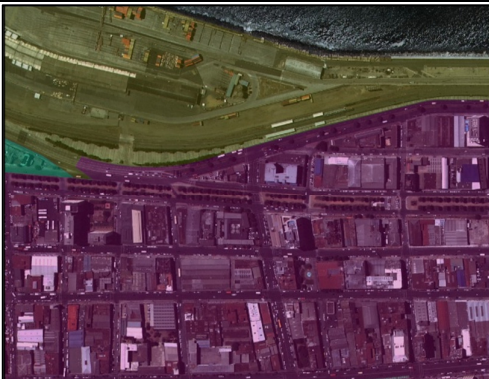
Anexo N° 1: Datos descriptivos de las estaciones meteorológicas utilizadas.


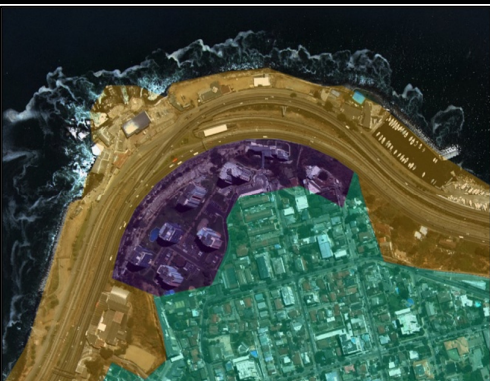


Nombre estación	E (UTM WGS 84)	N (UTM WGS 84)	Elevación (msnm)	Tipo de estación	Intervalo de Medición
Doctor Montt Saavedra	256552.65	6340781.69	9.8	Automática	1 hora
PUCV	255988.4	6340717.28	10.5	Automática	1 hora
La Sebastiana	255207.69	6339576.98	126.0	Automática	1 hora
Ramón Cordero	252814.07	6341906.79	125.5	Automática	1 hora
Melipilla	2511682.21	6132675.39	268.0	Automática	1 hora
Punta Angeles	253131.35	6343320.12	12.7	Convencional	3 horas
Ana María Cotapo	253622.56	6341094.71	98.0	Automática	1 hora
Benito Basterrica	257456.64	6340132.99	64.0	Automática	1 hora
Ramadita	257415.54	6339471.33	57.0	Automática	1 hora
UTFSM	257602.14	6341889.73	26.0	Automática	1 minuto
Río Rímac	259437.88	6341102.57	179.0	Automática	1 hora
Camino Real Interior	259013.44	6341872.09	80.0	Automática	1 hora
COVISA	2520734.9	6130292.07	290.0	Automática	1 hora

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N° 2: Fotointerpretación de Zonas Climáticas Termales.

ZCT	Descripción	Ejemplo
N1	Corresponde a formaciones de vegetación densa (polígonos verde oscuro), se encuentra localizada generalmente sobre las laderas de orientación sur, sureste y suroeste de la parte alta de las principales quebradas de la ciudad.	 <p>Sector alto quebrada Yolanda o de Cabritería.</p>
N2	Corresponde a formaciones de vegetación dispersa (polígono tachado). Se encuentra localizada generalmente sobre las laderas de orientación norte, noreste y noroeste de las principales quebradas de la ciudad.	 <p>Sector alto quebrada Yolanda o de Cabritería.</p>

P	<p>Corresponde a una zona de transición entre las zonas altamente urbanizadas de la ciudad y el mar (polígono anaranjado). Ubicada en la línea de costa, sus límites hacia el interior pueden definirse en función del grado de urbanización y de las actividades principalmente recreativas que se dan en ella.</p>	 <p>Sector Caleta Portales.</p>
SD	<p>Corresponde a suelo desprovisto de coberturas (polígono marrón). De localización es azarosa. En el caso del ejemplo, se realizan actividades de extracción de materiales. El suelo suele estar altamente degradado.</p>	 <p>Sector Av. José Santos Ossa junto a Hanga Roa.</p>
B1	<p>Corresponde a urbanización con edificios que sobrepasan los 10 pisos de altura y que se encuentran próximos unos de otros (polígono amarillo), son de materiales de construcción sólidos y la superficie en la cual se encuentran, muestra un alto grado de impermeabilización. El tráfico es alto y la vegetación escasa. Las funciones asociadas a esta zona, son principalmente comercial y residencial. Se localizan en áreas consolidadas de la ciudad.</p>	 <p>Cerro Placeres.</p>
B2	<p>Corresponde a zonas en las cuales predominan los edificios de no más de 10 pisos, ubicados muy próximos unos de otros y muy homogéneos en cuanto a su altura (polígono fucsia). Son de materiales de construcción sólido, el grado de impermeabilización es alto y la vegetación está reducida principalmente a la presencia de plazas. Los usos de suelo son principalmente residencial, comercial y servicios.</p>	 <p>Plan de la ciudad.</p>

B3	<p>Zona climática predominante en la ciudad (polígono turquesa), corresponde a sectores altamente urbanizados con viviendas de materiales sólidos muy próximas entre sí, de no más de dos pisos. Las viviendas son usualmente pequeñas y el tráfico bajo y/o moderado. Se localiza en las terrazas medias y altas de la ciudad y el uso de suelo es predominantemente residencial.</p>	 <p>Sector alto cerro Cordillera</p>
B4	<p>Conjunto de edificaciones (polígono morado) de más de 10 pisos, distribuidos de manera dispersa, separados principalmente por áreas ajardinadas. Las construcciones son de materiales sólidos y el tráfico es moderado. Los usos de suelo son comercial en el caso de hoteles y oficinas y residencial. En el caso de Valparaíso se localizan usualmente próximos a la línea de costa.</p>	 <p>Condominio Gran Océano.</p>
B5	<p>Corresponde a urbanización dispersa con edificaciones de entre 3 a 8 pisos (polígono rosado), de materiales sólidos, el tráfico es moderado y los usos de suelo predominantes son residencial (en su mayoría conjuntos de viviendas sociales) y educacional. Se localiza principalmente en la periferia de la ciudad.</p>	 <p>Sector 1 de cerro Playa Ancha.</p>
B6	<p>Corresponde a edificaciones pequeñas de materiales sólidos de no más de 3 pisos de altura (polígono azul), usualmente separados por vegetación o calles con moderado y bajo tráfico. Su localización es aleatoria, pudiendo encontrarse tanto en áreas centrales como periféricas de la ciudad. El uso de suelo predominante es residencial.</p>	 <p>Sector alto cerro Placeres.</p>

<p>B7</p>	<p>Corresponde a grandes estructuras urbanas (polígono pardo), de baja altura (no más de 3 pisos), de concreto y/o metal, separadas ampliamente unas de otras, usualmente por superficies pavimentadas. Se encuentra en la periferia, cuando se trata de usos de suelo industrial o transporte aéreo, pero su distribución puede ser aleatoria cuando los usos de suelo son comercial o de transporte de carga y personas (puertos).</p>	
<p>B9</p>	<p>Corresponde a edificaciones de baja altura (polígono gris), de materiales sólidos, distribuidos dispersamente sobre suelos naturales, las calles son escasas y muchas veces se observan sólo huellas. Se localiza en la periferia de la ciudad y el uso de suelo es residencial.</p>	

Puerto.

Sector El Vergel.

