UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES

VALPARAÍSO - CHILE

Comparación de Zonificaciones SUPERPAVE para Chile y Cuantificación de la Influencia del Cambio Climático en la Selección del Ligante Asfáltico

Memoria de titulación presentada por

LEANDRO ALEXIS ARTEAGA JARAMILLO

Como requisito para optar al título de

INGENIERO CIVIL

Profesor Guía

RODRIGO DELGADILLO STURLA

Noviembre de 2017

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES

VALPARAÍSO - CHILE

Comparación de Zonificaciones SUPERPAVE para Chile y Cuantificación de la Influencia del Cambio Climático en la Selección del Ligante Asfáltico

Memoria de titulación presentada por

LEANDRO ALEXIS ARTEAGA JARAMILLO

Como requisito parcial para optar al título de

INGENIERO CIVIL

Profesor Guía

RODRIGO DELGADILLO STURLA

Noviembre de 2017

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quiero agradecer a todas las personas que por algún motivo se cruzaron en este largo camino para lograr convertirme en un ingeniero civil, principalmente a mi familia, mis amigos y mis compañeros.

Agradeciendo de una manera especial a mis padres, Víctor y Patricia, por su amor incondicional desde el primer día de mi vida y por los esfuerzos que significo el darme la oportunidad de ser un profesional universitario.

A mis dos hermanos, Jonathan y Pamela, por alegrar y hacer muy gratos cada uno de mis cortos momentos en Coyhaique durante estos 8 años. Gracias por cada buen momento vivido juntos.

Agradezco a mi compañera, mi polola Katherine, gracias por en estos últimos 4 años de mi carrera sacarme una sonrisa a cada instante, hacerme feliz siempre y por sobre todo darme tu apoyo y tu amor incondicionalmente, gracias por los momentos de distracción, diversión y aventuras vividos juntos.

A toda mi familia, por su cariño constante, el cual fue un pilar fundamental en el logro de este proceso.

A mi profesor guía, Rodrigo Delgadillo, gracias por su ayuda constante durante el desarrollo de mi tesis.

Comparación de Zonificaciones SUPERPAVE para Chile y Cuantificación de la Influencia del Cambio Climático en la Selección del Ligante Asfáltico.

RESUMEN

En nuestro país, se utiliza una clasificación de ligantes asfálticos según grado de viscosidad, por lo cual urge investigar sobre metodologías basadas en el desempeño, dejando en el pasado las especificaciones del tipo empíricas. Es por ello, que en el presente trabajo se buscará obtener dos mapas de zonificación basándose en el sistema "Pavimentos asfálticos de desempeño superior" (**SU**perior **PER**forming Asphalt **PAVE**ment, SUPERPAVE), para el territorio chileno, utilizando los modelos de cálculo de "grados de desempeño" (**P**erformance **G**rade, PG) implementados en los programas computacionales LTPPBind 2.1 y LTPPBind 3.1. Para poder lograr dichas zonificaciones, se utilizaron datos de temperaturas extremas diarias de 94 estaciones a lo largo de Chile, los que provienen de la Dirección General de Aguas (DGA) y de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC).

Los resultados de las zonificaciones arrojan la posibilidad de abarcar el territorio chileno con solo tres ligantes asfálticos, considerando un 98% de confiabilidad. El modelo basado en daño (LTPPBind 3.1), recomienda un ligante PG 52-34, para la zona austral (XI y XII región) y cordillerana de todo Chile; un PG 58-28 para la zona norte, zona sur (IX, XIV y parte de la X región) y para el sector costero entre la II y IX región; para la zona central entre la III y VIII región se recomienda un PG 64-22 (se excluye los sectores cordilleranos y costeros).

El Modelo desarrollado por el "Programa de desempeño de pavimentos a largo plazo" (**L**ong-**T**erm **P**avement **P**erformance Program, LTPP) implementado en LTPPBind 2.1, recomienda un ligante PG 52-34 para la XII región; un PG 58-28 para la XI región y sectores cordilleranos entre la I y X región, al resto de Chile se le asigna un PG 64-22.

Durante las últimas décadas, adquirió importancia el tema del cambio climático y la necesidad de tomar medidas a corto plazo, para evitar repercusiones que puedan afectar a los seres humanos. Es por ello que la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) realiza una modelación climática, para los años 2030-2059, utilizando dos escenarios futuros RCP 2.6 y RCP 8.5 (más optimista y más pesimista con respecto a la disminución de emisión de gases efecto invernadero, respectivamente). En base a la modelación de climas futuros de la DMC, se cuantifica el cambio climático, para 94 estaciones a lo largo de Chile, luego se procede a elaborar mapas de zonificación SUPERPAVE, considerando los dos escenarios futuros. Los resultados evidenciaron cambios en las áreas de influencia de los distintos ligantes por los efectos del cambio climático, requiriéndose además la incorporación de un nuevo ligante asfáltico PG 70-16 para cubrir los requerimientos de algunas zonas relativamente pequeñas que se vuelven más cálidas.

Palabras claves: *Pavimento asfáltico, Superior Performing Asphalt Pavement, SUPERPAVE, Strategic Highway Research Program, SHRP, Performance grade, PG, Long-Term Pavement Performance Program, LTPP, LTPPBind 2.1, LTPPBind 3.1, Cambio climático.*

ABSTRACT

In Chile, a new classification of asphalt binders according to its viscosity is used, that is why is urgent to investigate about performance-based methodologies, leaving behind the empirical type specifications. For this reason, this research will seek two SUPERAVE zoning maps for Chilean territory using Performance Grades (PG) in the LTPPBind 2.1 and LTPPBind 3.1 software. In order to achieve such zonings, extreme daily temperatures information of 94 stations throughout Chile were used; the information is taken from Dirección General de Aguas (DGA) and Dirección Meteorológica de Chile (DMC).

The results of the zonings show the possibility of covering the Chilean territory with only three asphalt binders' types, considering 98% reliability. The damage-based model (LTPPBind 3.1), for southern zone (IX and XII region) and the mountain range throughout Chile a PG 52-34 blinder is recommended. In the north area, the south area (IX, XIV and part of X region) and the coastal sector among II and IX region a PG 58-28 is recommended. For the central zone among III and VII region a PG 64-22 is recommended (excludes mountain range and coastal zones).

For XII region a PG 52-34 binder is recommended by LTPP model (LTPPBind 2.1). For XI region and mountain range among I and X region a PG 58-28 is recommended, for the rest of Chile a PG 64-22 is assigned.

During the last decades, the issue of climate change and the need to take action in the short term to avoid impacts that may affect humans have become important. As a result, Dirección de Meteorología de Chile (DMC) carry out a climate modeling - for 2030-2059 years - using two RCP 2.6 and RCP 8.5 future scenarios (the first one more optimistic about the reduction of greenhouse gas emissions and the second one more pessimistic). According to DMC future climate modeling, climate change is quantified - for 94 terminals throughout Chile - then SUPERPAVE zoning maps are drown up, considering the two future scenarios. The results showed changes on areas of influence of different blinders because of climate change impacts, requiring the incorporation of PG70-16 new asphalt blinder to cover the requirements of some relatively small areas that become warmer.

Key words: *Asphalt Pavement, Superior Performing Asphalt Pavement, SUPERAVE, Strategic Highway Research Program, SHRP, Performance grade, PG, Long-Term Pavement Performance Program, LTPP, LTPPBind 2.1, LTPPBind 3.1, Climate change*.

ÍNDICE GENERAL

1.INTRODUCCIÓN 1
1.1 Antecedentes generales 1
1.2 Objetivos del estudio 2
1.3 Alcances del estudio 3
1.4 Metodología de trabajo 4
2 MARCO TEÓRICO 5
2.1 SUPERPAVE 5
2.1.1 Introducción 5
2.1.2 Ensayos SUPERPAVE 6
2.1.3 Grados de desempeño SUPERPAVE 10
2.1.4 Confiabilidad 13
2.1.5 Cálculo del grado de desempeño 14
2.2 Clasificación climática de Chile según sistema Köppen 21
2.3 Estudios previos de Zonificaciones SUPERPAVE para Chile 28
2.3.1 Zonificación SUPERPAVE Mauricio Segovia 28
2.3.2 Zonificación SUPERPAVE David Morales 31
2.4 Cambio climático proyectado por la DMC 34
3. ZONIFICACIÓN SUPERPAVE SEGÚN SOFTWARE LTPPBIND 2.1 36
3.1 Estaciones climáticas a utilizar en la zonificación SUPERPAVE 36
3.2 Cálculo temperatura del pavimento y asignación de grado de desempeño (PG) 48
3.3 Asignación de un ligante tradicional a cada estación en estudio 52
3.4 Mapa de zonificación de Chile 57
3.5 Comparación de resultados con estudios de zonificación previos 63
3.5.1 Comparación zonificaciones utilizando los modelos SHRP (Segovia) y LTPP 2.1 63
3.5.2 Comparación zonificaciones utilizando los modelos SHRP (Morales) y LTPP 2.1 67
4. ZONIFICACIÓN SUPERPAVE SEGÚN SOFTWARE LTPPBIND 3.1 70
4.1 Estaciones climáticas a utilizar en la zonificación SUPERPAVE 70
4.2 Cálculo temperatura del pavimento y asignación de grado de desempeño (PG) 73
4.3 Asignación de un ligante tradicional a cada estación en estudio 75
4.4 Mapa de zonificación de Chile 80
4.5 Comparación de resultados con estudios de zonificación previos 82

4.5.1 Comparación de zonificaciones utilizando los modelos SHRP y el basado en daño LTPP 3.1 82
4.5.2 Comparación de zonificaciones utilizando los modelos LTPP 2.1 y el basado en daño LTPP 3.1 85
5.ANÁLISIS DE METODOLOGÍAS DE ZONIFICACIÓN 86
5.1 Comparación entre diferentes métodos de zonificación 86
5.2 Compatibilización de metodología de zonificación aplicadas. 90
6. INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS ESTACIONES EN ESTUDIO 93
6.1 Método para cuantificar el cambio climático 93
6.2 Extracción de temperaturas extremas diarias para cada estación en estudio 97
6.4 Determinación del delta climático a utilizar 98
6.5 Cálculo del delta climático para cada estación 99
6.6 Obtención del clima futuro corregido 102
7. CLASIFICACIÓN SUPERPAVE CONSIDERANDO CAMBIO CLIMÁTICO 104
7.1 Método SHRP 104
7.1.1 Escenario RCP 2.6 104
7.1.2 Escenario RCP 8.5 109
7.2 Método LTPP 2.1 114
7.2.1 Escenario RCP 2.6 114
7.2.2 Escenario RCP 8.5 117
7.3 Método basado en daño (LTPP 3.1) 122
7.3.1 Escenario RCP 2.6 122
7.3.2 Escenario RCP 8.5 125
7.4 análisis y comparaciones 131
8.CONCLUSIONES 141
9. GLOSARIO 143
10.REFERENCIAS 144
11. ANEXOS 146

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Grados de desempeño SUPERPAVE. 10
Tabla 2-2: Requisitos de la clasificación SUPERPAVE para el ligante PG 58-28. 11
Tabla 2- 3: Requisitos para los diferentes grados de desempeño SUPERPAVE (Tabla 8.301.8 A del M.C V.8, 2015). 11
Tabla 2-4: Clasificación de la letra principal según Wladimir Köppen. 21
Tabla 2-5: Clasificación de la segunda letra mayúscula según Wladimir Köppen. 22
Tabla 2-6: Clasificación de la segunda letra minúscula según Wladimir Köppen. 23
Tabla 2-7: Clasificación de la tercera letra minúscula según Wladimir Köppen. 24
Tabla 2-8: Clasificación de casos especiales según Wladimir Köppen. 25

Tabla 3- 1: Estaciones de la DGA recolectadas inicialmente (Segovia,2015). 37
Tabla 3- 2 : Estaciones de la DMC recolectadas inicialmente (Segovia,2015). 40
Tabla 3- 3: Ejemplo de aplicación, criterio N°2 selección de estaciones. 41
Tabla 3- 4: Ejemplo de aplicación criterio selección de estaciones N°3. 42
Tabla 3- 5: Estaciones resultantes de la DMC luego de aplicar los criterios 1,2 y 3. 43
Tabla 3- 6: Estaciones resultantes de la DGA luego de aplicar los criterios 1,2 y 3. 44
Tabla 3- 7: Años para los cuales cada estación posee estadística completa de temperaturas máximas diarias. 46
Tabla 3- 8: Años para los cuales cada estación posee estadística completa de temperaturas mínimas diarias. 47
Tabla 3- 9: Ejemplo de asignación grado PG. 48
Tabla 3- 10 :Clasificación SUPERPAVE por estación según LTPP 2.1. 50
Tabla 3- 11 :Grados de desempeño (PG)y ligante asignado para cada estación según LTPP 2.1. 53
Tabla 3- 12: Relación entre los grados PG para baja temperatura utilizando los modelos SHRP y LTPP 2.1 en A. del Norte, con una confiabilidad del 50 %. Fuente: “LTPP Seasonal Asphalt Concrete (AC) Pavement Temperatura Models” (Mohseni A., 1998). 63
Tabla 3- 13: Relación entre los grados PG para baja temperatura utilizando los modelos SHRP (Segovia, 2015) y LTPP 2.1 en Chile, con una confiabilidad del 50 %. 64
Tabla 3- 14: Relación entre los grados PG para baja temperatura utilizando los modelos SHRP y LTPP 2.1 en A. del Norte, con una confiabilidad del 98 %. Fuente: “LTPP Seasonal Asphalt Concrete (AC) Pavement Temperatura Models” (Mohseni A., 1998). 64
Tabla 3- 15: Relación entre los grados PG para baja temperatura utilizando los modelos SHRP (Segovia, 2015) y LTPP 2.1 en Chile, con una confiabilidad del 98 %. 64
Tabla 3- 16: Relación entre los grados PG para alta temperatura utilizando los modelos SHRP y LTPP 2.1 en A. del Norte, con una confiabilidad del 50 %. Fuente: “LTPP Seasonal Asphalt Concrete (AC) Pavement Temperatura Models” (Mohseni A., 1998). 65
Tabla 3- 17: Relación entre los grados PG para alta temperatura utilizando los modelos SHRP (Segovia, 2015) y LTPP 2.1 en Chile, con una confiabilidad del 50 %. 65

Tabla 3- 18: Relación entre los grados PG para alta temperatura utilizando los modelos SHRP y LTPP 2.1 en A. del Norte, con una confiabilidad del 98 %. Fuente: “LTPP Seasonal Asphalt Concrete (AC) Pavement Temperatura Models” (Mohseni A., 1998). 65
Tabla 3- 19: Relación entre los grados PG para alta temperatura utilizando los modelos SHRP (Segovia, 2015) y LTPP 2.1 en Chile, con una confiabilidad del 98 %. 66
Tabla 3- 20: Porcentaje de estaciones en A. del Norte que aumentan, mantienen o disminuyen su PG al pasar del método SHRP al LTPP 2.1. Fuente: “LTPP Seasonal Asphalt Concrete (AC) Pavement Temperatura Models” (Mohseni A., 1998). 66
Tabla 3- 21: Porcentaje de estaciones en Chile que aumentan, mantienen o disminuyen su PG al pasar del método SHRP (Segovia, 2015) al LTPP 2.1. 66
Tabla 3- 22: Comparación de los grados de desempeño calculados en la presente investigación y en la realizada por Morales (2013). 68

Tabla 4- 1: Parámetro Grados-Días (DD) para todas las estaciones en estudio. 71
Tabla 4- 2: Clasificación SUPERPAVE por estación según el modelo basado en daño LTPP 3.1. 74
Tabla 4- 3: Grados de desempeño (PG)y ligante asignado para cada estación según el modelo basado en daño LTPP 3.1. 76
Tabla 4- 4: Relación entre los grados PG para alta temperatura utilizando el modelo SHRP y el basado en daño LTPP 3.1, en A. del Norte, con una confiabilidad del 98 %. Fuente: “Development of SUPERPAVE High-Temperature Performance Grade Based on Rutting Damage” (Mohseni et al., 2005). 82
Tabla 4- 5: Relación entre los grados PG para alta temperatura utilizando los modelos SHRP (Segovia, 2015) y el basado en daño LTPP 3.1 en Chile, con una confiabilidad del 98 %. 82
Tabla 4- 6: Comparación de parámetros y grados de desempeño entre Appachicola, EEUU y Osorno, Chile. 83
Tabla 4- 7: Comparación de parámetros y grados de desempeño entre Lakeland, EEUU y Pucón, Chile. 84
Tabla 4- 8: Relación entre los grados PG para alta temperatura utilizando los modelos LTPP 2.1 y el basado en daño LTPP 3.1 en Chile, con una confiabilidad del 98 %. 85

Tabla 5- 1: Ligantes asfálticos que cumplen los requisitos para cada modelo, además el ligante seleccionado para cada estación. Confiabilidad de 50%. 87
Tabla 5- 2: Ligantes asfálticos que cumplen los requisitos para cada modelo, además el ligante seleccionado para cada estación. Confiabilidad de 98%. 89

Tabla 6- 1: Comparativo entre delta climático mensual y trimestral para la ciudad de Concepción 98
Tabla 6- 2: Ejemplo de aplicación delta climático para la ciudad de Antofagasta 103

Tabla 7- 1: Clasificación SUPERPAVE para Chile por estación, según el modelo SHRP + escenario RCP 2.6. 105
Tabla 7- 2: Estaciones que deben cambiar de ligante tradicional por el cambio climático según modelo SHRP + escenario RCP 2.6. 107
Tabla 7- 3: Clasificación SUPERPAVE para Chile por estación, según el modelo SHRP + escenario RCP 8.5. 110

Tabla 7- 4: Estaciones que deben cambiar de ligante tradicional por el cambio climático según modelo SHRP + escenario RCP 8.5.....112
Tabla 7- 5: Clasificación SUPERPAVE para Chile por estación, según el modelo LTPP 2.1 + escenario RCP 2.6. 115
Tabla 7- 6: Estaciones que deben cambiar de ligante tradicional por el cambio climático según modelo LTPP 2.1 + escenario RCP 2.6. 117
Tabla 7- 7: Clasificación SUPERPAVE para Chile por estación, según el modelo LTPP 2.1 + escenario RCP 8.5. 118
Tabla 7- 8: Estaciones que deben cambiar de ligante tradicional por el cambio climático según modelo LTPP 2.1 + escenario RCP 8.5. 120
Tabla 7- 9: Clasificación SUPERPAVE para Chile por estación, según el modelo basado en daño LTPP 3.1 + escenario RCP 2.6. 123
Tabla 7- 10: Estaciones que deben cambiar de ligante tradicional por el cambio climático según modelo de daño LTPP 3.1 + escenario RCP 2.6.....125
Tabla 7- 11: Clasificación SUPERPAVE para Chile por estación, según el modelo basado en daño LTPP 3.1 + escenario RCP 8.5.....126
Tabla 7- 12: Estaciones que deben cambiar de ligante tradicional por el cambio climático según modelo de daño LTPP 3.1 + escenario RCP 8.5.....128
Tabla 7- 13: Comparativo entre los PG actuales y los futuros (RCP 2.6 y RCP 8.5) utilizando los modelos SHRP y un 50 % de confiabilidad.....131
Tabla 7- 14: Comparativo entre los PG actuales y los futuros (RCP 2.6 y RCP 8.5) utilizando los modelos SHRP y un 98 % de confiabilidad.....132
Tabla 7- 15: Comparativo entre los PG actuales y los futuros (RCP 2.6 y RCP 8.5) utilizando los modelos LTPP 2.1 y un 50 % de confiabilidad. 133
Tabla 7- 16: Comparativo entre los PG actuales y los futuros (RCP 2.6 y RCP 8.5) utilizando los modelos LTPP 2.1 y un 98 % de confiabilidad. 134
Tabla 7- 17: Comparativo entre los PG actuales y los futuros (RCP 2.6 y RCP 8.5) utilizando el modelo basado en daño LTPP 3.1 y un 50 % de confiabilidad.....135
Tabla 7- 18: Comparativo entre los PG actuales y los futuros (RCP 2.6 y RCP 8.5) utilizando el modelo basado en daño LTPP 3.1 y un 98 % de confiabilidad.....136
Tabla 7- 19: Cambio de los PG entre el periodo actual y el futuro, utilizando el modelo SHRP. 137
Tabla 7- 20: Cambio de los PG entre el periodo actual y el futuro, utilizando el modelo LTPP 2.1.137
Tabla 7- 21: Cambio de los PG entre el periodo actual y el futuro, utilizando el modelo basado en daño LTPP 3.1.....138
Tabla 7- 22: Zonas naturales de Chile y distribución de estaciones.....139

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Horno de película delgada rotativa (RTFO).....6
Figura 2-2: Cámara de envejecimiento a presión (PAV). 6
Figura 2-3: Viscosímetro rotacional (RV). 7
Figura 2-4: Reómetro de corte dinámico (DSR). 8
Figura 2-5: Reómetro de flexión de viga (BBR). 9
Figura 2- 6: Equipo de ensayo de tracción directa. 9
Figura 2-7: Frecuencia en horas para diferentes temperaturas de una estación en Texas, EEUU (Mohseni A. et al., 2005). 17
Figura 2-8: Daño acumulado para diferentes ligantes asfálticos (Mohseni A. et al., 2005). 18
Figura 2-9: Clasificación Köppen del territorio chileno (Rioseco y Tesser ,2006). 26
Figura 2-10: Climas de la clasificación Köppen presentes en Chile (Rioseco y Tesser ,2006). 27
Figura 2-11: Zonificación SUPERPAVE de Chile para una confiabilidad del 50% según SHRP (Segovia, 2015). 29
Figura 2-12: Zonificación SUPERPAVE de Chile para una confiabilidad del 98%, según SHRP (Segovia, 2015). 30
Figura 2-13: Zonificación SUPERPAVE de Chile para una confiabilidad del 98% (Morales, 2013).....32
Figura 2-14: Ilustración del efecto invernadero 34
Figura 2-15: Cambio de temperatura en la superficie de la tierra para el periodo histórico y los escenarios RCP 2.6 y RCP 8.5 (Alcafuz et al., 2014). 35

Figura 3- 1: Distribución espacial de los ligantes asfálticos a utilizar en la zonificación (PG52-34, PG58-28, PG64-22) para el modelo LTPP 2.1. 56
Figura 3- 2: Clasificación Köppen del territorio chileno (Rioseco y Tesser, 2006). 58
Figura 3- 3: Curvas de nivel cada 100 metros para una zona cercana a la ciudad de Talca (Rulamahue.cl, 2016). 58
Figura 3- 4: Ejemplo 1, criterios de zonificación. 59
Figura 3- 5: Ejemplo 2, criterios de zonificación. 60
Figura 3- 6: Ejemplo 2, criterios de zonificación. 60
Figura 3- 7: Ejemplo 3, criterios de zonificación. 61
Figura 3- 8: Zonificación SUPERPAVE para Chile utilizando los modelos LTPP 2.1, para un 98% de confiabilidad.....62

Figura 4- 1: Distribución espacial de los ligantes asfálticos a utilizar en la zonificación (PG52-34, PG58-28, PG64-22) para el modelo basado en daño LTPP 3.1, para un 98% de confiabilidad. 79
Figura 4- 2: Zonificación SUPERPAVE para Chile utilizando el modelo basado en daño LTPP 3.1, para un 98% de confiabilidad. 81
Figura 4- 3: Gráfico para el año 2008 de temperaturas máximas diarias de los 6 meses más calurosos; estación de Osorno y Apalachicola.....83
Figura 4- 4: Grafico para el año 2008 de temperaturas máximas diarias de los 6 meses más calurosos; estación de Pucón y Lakeland. 84

Figura 5- 1: Distribución espacial de los ligantes asfálticos a utilizar en la zonificación (PG52-34, PG58-28, PG64-22), para la compatibilización de los tres métodos de cálculo de PG (SHRP, LTPP 2.1 y el basado en daño LTPP 3.1) 91
Figura 5- 2: Zonificación SUPERPAVE para Chile realizando la compatibilización de los tres métodos de cálculo de PG (SHRP, LTPP 2.1 y el basado en daño LTPP 3.1), para un 98% de confiabilidad. 92

Figura 6- 1: Gráficos comparativos entre "Hindcast" y las temperaturas históricas del periodo 1970-1999 para las temperaturas mínimas diarias. 94
Figura 6- 2: Gráficos comparativos entre "Hindcast" y las temperaturas históricas del periodo 1970-1999 para las temperaturas máximas diarias. 95
Figura 6- 3: Esquema explicativo sobre el delta climático. 96
Figura 6- 4: Malla georreferenciada del programa WRF utilizada por la DMC (Alcafuz et al., 2014) 97
Figura 6- 5: Delta climático de la ciudad de Arica para la temperatura mínima y máxima diaria ...100
Figura 6- 6: Delta climático de la ciudad de Antofagasta para la temperatura mínima y máxima diaria 100
Figura 6- 7: Delta climático de la ciudad de La Serena para la temperatura mínima y máxima diaria 100
Figura 6- 8:Delta climático de la ciudad de Santiago para la temperatura mínima y máxima diaria 100
Figura 6- 9: Delta climático de la ciudad de Chillán para la temperatura mínima y máxima diaria 101
Figura 6- 10:Delta climático de la ciudad de Osorno para la temperatura mínima y máxima diaria 101
Figura 6- 11: Delta climático de la ciudad de Balmaceda para la temperatura mínima y máxima diaria 101
Figura 6- 12: Delta climático de la ciudad de Punta Arenas para la temperatura mínima y máxima diaria 101

Figura 7- 1: Zonificación SUPERPAVE para Chile utilizando los modelos SHRP, escenario RCP 2.6 y 98% de confiabilidad. 108
Figura 7- 2: Zonificación SUPERPAVE para Chile utilizando los modelos SHRP, escenario RCP 8.5 y 98% de confiabilidad. 113
Figura 7- 3: Zonificación SUPERPAVE para Chile utilizando los modelos LTPP 2.1, escenario RCP 8.5 y 98% de confiabilidad. 121
Figura 7- 4: Zonificación SUPERPAVE para Chile utilizando el modelo basado en daño LTPP 3.1, escenario RCP 8.5 y 50 % de confiabilidad. 129
Figura 7- 5: Zonificación SUPERPAVE para Chile utilizando el modelo basado en daño LTPP 3.1, escenario RCP 8.5 y 98% de confiabilidad. 130
Figura 7- 6: Porcentaje de estaciones que cambian su PG debido al cambio climático, modelo SHRP y una confiabilidad del 98%. 140
Figura 7- 7: Porcentaje de estaciones que cambian su PG debido al cambio climático, modelo LTPP 2.1 y una confiabilidad del 98%. 140
Figura 7- 8: Porcentaje de estaciones que cambian su PG debido al cambio climático, modelo basado en daño LTPP 3.1 y una confiabilidad del 98%. 140

1.INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes generales

Actualmente en Chile, para la elección del ligante asfáltico, se utiliza la clasificación por grado de viscosidad, la cual da la opción de diseñar las mezclas asfálticas con dos tipos de ligantes: CA 24 o CA 14, dependiendo en que zona de Chile se encuentre el proyecto. Con lo anterior, no se asegura el cumplimiento de las exigencias climáticas del sector geográfico en estudio, ante esto se debe evolucionar de un sistema de especificación empírico a uno basado en el desempeño.

El sistema "Pavimentos asfálticos de desempeño superior" (**SU**perior **PER**forming Asphalt **PAVE**ment, SUPERPAVE) es el resultado de un programa de investigación desarrollada en EEUU, llamado "Programa estratégico de investigación de carreteras" (**S**trategic **H**igway **R**esearch **P**rogram, SHRP). Este programa se desarrolló entre los años 1987 y 1993, el cual tenía como objetivos principales: obtener nuevas metodologías para el diseño de mezclas asfálticas; la selección de ligantes asfálticos; la selección de materiales granulares y un modelo de predicción del comportamiento de pavimentos asfálticos.

Este nuevo método se basa en el desempeño, ya que recomienda ligantes asfálticos, en base a las exigencias climáticas del sector geográfico en estudio. Además, busca evitar las 3 principales fallas de los pavimentos asfálticos, las cuales son ahuellamiento, agrietamiento por fatiga y agrietamiento térmico. Gracias a la incorporación de nuevos equipos de laboratorios, como los reómetros, se pueden caracterizar las propiedades fundamentales de los materiales asfálticos, también se incorporan criterios para considerar el tiempo de carga y volumen de tránsito, al momento de recomendar un ligante asfáltico.

La especificación por desempeño utiliza una nomenclatura llamada, "Grados de desempeño" (**P**erformance **G**rade, PG), la cual describe las temperaturas para las cuales las propiedades físicas del ligante asfáltico, cumplirán con los requisitos impuestos por SUPERPAVE. La estructura de los grados de desempeño es del tipo PG XX-YY, donde "XX" hace referencia al grado de alta temperatura e "YY" hace referencia al grado de baja temperatura. Tanto en el grado de alta temperatura como en el de baja se tiene una distancia de 6°C entre cada intervalo.

Como es de conocimiento general, el planeta está inmerso en un constante cambio climático, debido a la emisión desproporcionada de gases de efecto invernadero, provocando un aumento en las temperaturas, a nivel mundial, lo que produce cambios en las diferentes áreas del diario vivir. En los pavimentos asfálticos, el clima juega un rol importante, ya que es capaz de modificar las propiedades físicas de algunos de sus materiales. Según esto, poder cuantificar el cambio climático y los efectos que este tendría en el diseño de pavimentos flexibles, es de suma importancia. Ante la problemática anterior, se elaboró una zonificación SUPERPAVE para el territorio chileno, considerando un periodo futuro, y con ello poder cuantificar qué sectores de Chile serán más afectados por el cambio climático, en relación a la elección del ligante asfáltico. Para modelar el periodo futuro, se utilizó un estudio elaborado por La Dirección Meteorológica de Chile (DMC) en el cual se modela el clima para el periodo 2030-2059, para todo el territorio nacional.

1.2 Objetivos del estudio

- Realizar una zonificación SUPERPAVE de Chile, utilizando el modelo LTPP, el cual es implementado en el programa computacional LTPPBind 2.1.

- Realizar una zonificación SUPERPAVE de Chile, utilizando un modelo basado en daño, el cual es implementado en el programa computacional LTPPBind 3.1.

- Realizar una comparación entre los diferentes métodos de zonificación y unificar criterios para lograr una única zonificación SUPERPAVE de Chile.

- Aplicar una metodología que permita cuantificar el cambio climático en las estaciones meteorológicas en estudio, basándose en la modelación del clima futuro (2030-2059) realizada por la Dirección Meteorológica de Chile (DMC).

- Determinar las zonas de Chile más afectadas por el cambio climático, en el ámbito de la elección del ligante asfáltico, mediante clasificación SUPERPAVE para tres modelos de cálculo de grados de desempeño (SHRP, LTPP 2.1 y el basado en daño LTPP 3.1), todo lo anterior utilizando los escenarios futuros RCP 2.6 y RCP 8.5 (más optimista y más pesimista con respecto a la disminución de emisión de gases efecto invernadero, respectivamente).

1.3 Alcances del estudio

La recopilación de información climática para Chile fue extraída del trabajo titulado: "Zonificación SUPERPAVE para Chile y Estudio Preliminar de la Influencia del Cambio Climático en el Desempeño de Pavimentos en Chile", realizado por Segovia (2015) además de utilizar la metodología para cuantificar el cambio climático mencionada en dicho trabajo.

Las simulaciones de clima futuro, para los dos escenarios en estudio (RCP 2.6 y RCP 8.5) son basadas en la investigación de la DMC titulada "Análisis de los Resultados Convenio Alta Dirección Pública Director Dirección Meteorológica de Chile (Alcafuz et al, 2014)", en la cual se modela el clima para el periodo 2030-2059, para todo el territorio nacional, es por ello que los resultados obtenidos en el presente trabajo dependen de la precisión de dicha investigación.

En general, los modelos de cálculo de los PG son extraídos de las investigaciones, que les dan origen y comprobados con los programas computacionales en los que están implementados. Cabe señalar, que estos modelos son calibrados con estudios realizados en América del Norte.

Las zonificaciones se realizan con ayuda de la clasificación climática Köppen, la cual se fundamenta en el comportamiento de las temperaturas y precipitaciones de la zona en estudio. Para Chile existe una clasificación de este tipo, la cual fue elaborada por Rioseco y Tesser (2006). Los límites de zonificación entre cada ligante, para los mapas resultante de este trabajo, dependen de la investigación mencionada anteriormente.

1.4 Metodología de trabajo

Se comienza con el estudio de los métodos de clasificación de materiales asfálticos, utilizados en América del Norte y actualmente en Chile, conociendo principalmente sus ventajas y desventajas.

Se continúa con una revisión bibliográfica, basada en los contenidos del marco teórico, principalmente sobre las metodologías SUPERPAVE y métodos de cálculo para los grados de desempeño (PG). También se revisa el trabajo realizado por Segovia el 2015, ya que formará parte fundamental del presente estudio. Lo anterior se complementa con el uso de programas computacionales como el LTPPBind 2.1 y 3.1, que ayudan a la elección de ligantes asfálticos en América del Norte, además de implementar los modelos de cálculos de PG que se utilizaron.

Luego se calcularon los grados de desempeño (PG), para cada una de las 94 estaciones. Al mismo tiempo se le asignó un ligante asfáltico tradicional, que cumpliera con las solicitaciones climáticas de la zona en cuestión. Con esto último, se crearon los mapas de zonificación SUPERPAVE para los modelos en estudio (LTPP 2.1 y el basado en daño LTPP 3.1).

Finalmente se corrigieron las simulaciones realizadas por la DMC, para obtener el clima futuro para las 94 estaciones climáticas con las que se trabajó. Con lo anterior se obtuvieron zonificaciones SUPERPAVE para diferentes escenarios futuros (RCP 2.6 y RCP 8.5), todo esto utilizando los modelos, para el cálculo de los PG (SHRP, LTPP 2.1 y el basado en daño LTPP 3.1).

2 MARCO TEÓRICO

2.1 SUPERPAVE

2.1.1 Introducción

El sistema "Pavimentos asfálticos de desempeño superior" (**SU**perior **PER**forming Asphalt **PAVE**ment, SUPERPAVE) es el resultado de un programa de investigación desarrollada en EEUU, llamado "Programa estratégico de investigación de carreteras" (**S**trategic **H**igway **R**esearch **P**rogram, SHRP). Este programa se desarrolló entre los años 1987 y 1993, el cual tenía como objetivos principales obtener nuevas metodologías para el diseño de mezclas asfálticas, la selección de ligantes asfálticos, la selección de materiales granulares y un modelo de predicción del comportamiento de pavimentos asfálticos.

Este nuevo método se basa en el desempeño, ya que recomienda ligantes asfálticos en base a las exigencias climáticas del sector geográfico en estudio, además busca evitar las 3 principales fallas de los pavimentos asfálticos, las cuales son ahuellamiento, agrietamiento por fatiga y agrietamiento térmico. Gracias a la incorporación de nuevos equipos de laboratorios, se pueden caracterizar las propiedades fundamentales de los materiales asfálticos. Se incorporan criterios para considerar el tiempo de carga, volumen de tránsito y envejecimiento de la mezcla al momento de ensayar los ligante asfáltico.

2.1.2 Ensayos SUPERPAVE

La metodología SUPERPAVE incluye nuevos ensayos, para la caracterización del ligante asfáltico, los cuales buscan obtener información de sus propiedades físicas.

El envejecimiento del ligante asfáltico es fundamental para obtener condiciones de laboratorio similares a las de terreno, es por ello que se debe simular el envejecimiento que sufre durante el mezclado, compactación y vida útil. Para lograr lo anterior se tienen dos equipos:

- Horno de película delgada rotatorio (Rolling thin film oven, RTFO): El equipo RTFO (Figura 2-1) se utiliza para envejecer el ligante asfáltico, simulando las condiciones que ocurren después del mezclado y compactación de la mezcla asfáltica. El procedimiento de este ensayo se describe en el punto 8.302.33 del manual de carretera 2015, volumen 8.

Figura 2-1: Horno de película delgada rotativa (RTFO).

- Cámara de envejecimiento a presión (pressure aging vessel, PAV): El equipo PAV (Figura 2-2) se utiliza para envejecer el ligante asfáltico, simulando las condiciones que ocurren después de varios años de servicio de la mezcla asfáltica, este equipo usa ligantes previamente envejecidos con el RTFO. El procedimiento de este ensayo se describe en el punto 8.302.23 del manual de carretera 2015, volumen 8.

Figura 2-2: Cámara de envejecimiento a presión (PAV).

Las características físicas del ligante asfáltico se obtienen mediante cuatro equipos:

- Viscosímetro rotacional (rotational viscosimeter, RV): Es el equipo encargado de caracterizar la rigidez del ligante a 135°C, a esta temperatura se comporta casi como un fluido. Consiste en un cilindro coaxial, el cual mide la viscosidad por medio del torque requerido para rotar un eje, estando sumergido en una muestra de asfalto caliente, a una velocidad constante. Esto garantiza un asfalto bombeable y manejable durante la elaboración de la mezcla asfáltica en caliente. Las especificaciones requieren una viscosidad mínima de 3 [Pa*s]. En la figura 2-3 se puede apreciar este equipo.

Figura 2-3: Viscosímetro rotacional (RV).

- Reómetro de corte dinámico (dynamic shear rheometer, DSR): Este equipo se emplea para caracterizar las propiedades visco-elásticas del ligante asfáltico. Mide el módulo complejo en corte |G*| y el ángulo de fase (δ). La muestra es colocada entre dos platos paralelos, a la cual se le ejerce un torque oscilante. El DSR mide |G*| y δ, a través de la respuesta de la deformación específica de corte del espécimen, sometido a un torque. La respuesta de la deformación específica de corte, de una muestra de ligante, está desfasada un cierto intervalo de tiempo Δt con relación a la tensión aplicada. Este intervalo de tiempo representa un retraso en la respuesta de la deformación. El retraso de la fase es normalmente dado en medidas angulares, y se obtiene simplemente multiplicando el retraso de tiempo Δt por la frecuencia angular. Si el material es totalmente elástico no hay retraso, entre la tensión de corte y la respuesta de la deformación específica de corte, por lo cual el ángulo de fase sería cero (δ=0). En el caso contrario, tendríamos un material totalmente viscoso, por lo cual la respuesta estaría totalmente desfasada, teniendo un ángulo de fase de 90° (δ=90°). Los materiales visco-elástico, como los ligantes asfálticos, tienen un ángulo de fase entre 0° y 90°, dependiendo de la temperatura a la que se encuentren la muestra y la frecuencia de carga a la que se realiza el ensayo.

Las especificaciones SUPERPAVE controlan la rigidez del asfalto a temperaturas altas e intermedias. A altas temperaturas (>46°C) lo hace mediante la relación G*/Sen(δ), buscando garantizar que el asfalto provea su mayor aporte a la resistencia global al corte de la mezcla en términos de la elasticidad a altas temperaturas (protección contra el ahuellamiento). A temperaturas intermedias (7°C a 34°C) se controla la rigidez mediante el producto G*(sen(δ)), asegurando que el ligante no contribuya al agrietamiento por fatiga.
El reómetro de corte dinámico (DSR) se puede apreciar en la figura 2-4.

Figura 2-4: Reómetro de corte dinámico (DSR).

- Reómetro de viga en flexión (bending beam rheometer, BBR): Este equipo se utiliza, para caracterizar las propiedades de rigidez del ligante, a bajas temperaturas. Se mide la rigidez en "creep" (S) y el logaritmo de la velocidad de deformación en "creep" (m). Estos valores pueden ser calculados, conociendo la carga aplicada a la viga y la deflexión durante todo el ensayo. Las especificaciones SUPERPAVE fijan límites, a la rigidez en "creep" (S) y al valor "m". Los ligantes con una baja rigidez en "creep", no se fisuran en tiempos de fríos y ligantes con altos valores de "m", son más efectivos en la relajación de tensiones, que se desarrollan en la estructura de pavimentos asfálticos, cuando la temperatura desciende. Estos límites fijados por las especificaciones, aseguran un mínimo agrietamiento térmico.
  En ligantes modificados con polímeros, se podría tener una rigidez en "creep" más alta que la deseada, pero no se tendrán problemas de agrietamiento térmico, ya que ellos conservan la capacidad para estirarse sin agrietamiento, a bajas temperaturas.
  El reómetro de flexión de viga se puede apreciar en la figura 2-5.

Figura 2-5: Reómetro de flexión de viga (BBR).

- Ensayo de tracción directa (direct tension test, DTT): Este ensayo se utiliza para caracterizar los ligantes asfálticos, a bajas temperaturas. Se verifica que el ligante sea suficientemente dúctil a bajas temperaturas, cuando su rigidez en "creep" es muy alta. El DTT provee la deformación específica de rotura en tracción, medida sobre una muestra pequeña de forma de hueso traccionada, a baja temperatura hasta su ruptura. Las especificaciones dan un mínimo de deformación en tracción directa, para asegurar un buen comportamiento del ligante asfáltico, ante el agrietamiento térmico.
  En la figura 2-6 se puede apreciar un ensayo en tracción directa.

Figura 2- 6: Equipo de ensayo de tracción directa.

2.1.3 Grados de desempeño SUPERPAVE

Los grados de desempeño (**P**erformance **G**rade, PG) son principalmente temperaturas, para las cuales el ligante asfáltico tendrá propiedades físicas acordes a las solicitaciones climáticas. La estructura de los grados de desempeño es del tipo PG XX-YY, donde "XX" hace referencia al grado de alta temperatura e "YY" hace referencia al grado de baja temperatura, tanto en el grado de alta temperatura, como en el de baja, se tiene una distancia de 6°C, entre cada intervalo como se aprecia en la tabla 2-1.

Tabla 2-1: Grados de desempeño SUPERPAVE.

	PG 46-YY	PG 52-YY	PG 58-YY	PG 64-YY	PG 70-YY	PG 76-YY	PG 82-YY
YY	34;40;46	10;16;22;28;34;40;46	16;22;28;34;40	10;16;22;28;34;40	10;16;22;28;34;40	10;16;22;28;34	10;16;22;28;34

Por ejemplo:

- Un ligante PG 64-YY, tendrá un buen comportamiento, en temperaturas iguales o inferiores a 64 °C, para la falla que predomina en la alta temperatura (ahuellamiento).
- En otro caso, un ligante PG XX-22 tendrá un buen comportamiento, en temperaturas iguales o mayores a -22°C, para la falla que predomina a baja temperatura (agrietamiento térmico).
- Otro concepto implícito en esta nomenclatura, es el de temperatura intermedia, el cual busca resguardar el comportamiento del ligante, ante la falla de agrietamiento por fatiga, se calcula según la fórmula 2-1. Por ejemplo, un ligante PG 64-22 tendrá una temperatura intermedia de 25°C, es decir, que tendrá buen comportamiento para zonas donde la temperatura intermedia del pavimento, sea mayor o igual a 25°C, para la falla que predomina a temperaturas intermedias (agrietamiento por fatiga).

$$T_{intermedia} = \frac{Grado_{Alta\ T^{\circ}} - Grado_{Baja\ T^{\circ}}}{2} + 4 = \frac{XX - YY}{2} + 4$$

(Fórmula 2- 1)

Para que los ligantes asfálticos sean clasificados en un cierto grado PG, deben ser ensayados a una temperatura y envejecimiento determinado.

En la tabla 2-2, se muestran los requisitos de un ligante PG 58-22:

Tabla 2-2: Requisitos de la clasificación SUPERPAVE para el ligante PG 58-28.

Propiedad	Envejecimiento	Requisito	Temperatura de ensayo	Equipo, ensayo
Viscosidad	Original	máximo 3 [Pa*s]	135°C	Viscosímetro rotacional
Rigidez	Original	G*/sen(δ)> 1[Kpa]	58°C (Alta T°)	Reómetro de corte dinámico
Rigidez	RTFO	G*/sen(δ)> 2,2[Kpa]	58°C (Alta T°)	Reómetro de corte dinámico
Rigidez	RTFO+PAV	G*sen(δ)< 5.000[Kpa]	22°C (T° Intermedia)	Reómetro de corte dinámico
Rigidez en creep	RTFO+PAV	S< 300[Mpa] y m>0,3	-12°C (baja T° mas 10°C)	Reómetro de viga en flexión
Deformación en rotura	RTFO+PAV	ΔL/L>0,01	-12°C (baja T° mas 10°C)	Tracción directa

En la tabla 2-3 se pueden apreciar los requisitos para cada grado de desempeño SUPERPAVE, de acuerdo al Manual de Carreteras, volumen 8, edición 2015.

Tabla 2- 3: Requisitos para los diferentes grados de desempeño SUPERPAVE (Tabla 8.301.8 A del M.C V.8, 2015).

GRADO DE DESEMPEÑO	PG 46			PG 52							PG 58				
	34	40	46	10	16	22	28	34	40	46	16	22	28	34	40
Temperatura máxima de diseño, media móvil (7 días) de temp. máx. de pavimento, ºC [a]	< 46			< 52							< 58				
Temperatura mínima del pavimento de diseño, ºC	>-34	>-40	>-46	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-46	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40
LIGANTE ASFALTICO ORIGINAL															
Punto de inflamación, 8.302.9, temperatura mínima, ºC	230														
Viscosidad, 8.302.24: máx. 3 Pa.s, temperatura ensaye, °C [b]	135														
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*/senδ [f] mín. 1,00 kPa, temp. ensaye, °C [c]	46			52							58				
HORNO ROTATORIO DE PELICULA DELGADA RTFOT (8.302.33)															
Pérdida de masa, porcentaje máx.	1,00														
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*/senδ [f], mín. 2,2 kPa, temp. ensaye, °C	46			52							58				
CAMARA DE ENVEJECIMIENTO A PRESION PAV (8.302.23)															
Temp. de envejecimiento, °C [d]	90			90							100				
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*senδ [f], máx. 5000 kPa, temp. ensaye, °C	10	7	4	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13
Rigidez en creep , 8.302.25, a 60 s: S máx 300 MPa, valor-m mín 0,300 temp. ensaye, °C [e]	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30
Tracción directa, 8.302.26, 1 mm/min: deformación de rotura, mín. 1,0% temperatura ensaye, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30

(a) Temperaturas del pavimento son estimadas a partir de las temperaturas del aire usando un algoritmo incluido en SUPERPAVE, o serán provistas por la agencia específica.
(b) El método referido será el 8.302.24 (usando un vástago No. 21 a 20 rpm), sin embargo se pueden usar métodos alternativos para ensayes de rutina y control de calidad. Este requerimiento puede ser omitido si así lo dispone la Inspección Fiscal, siempre y cuando se garantice que el ligante asfáltico puede ser adecuadamente bombeado y mezclado a temperaturas que satisfagan todos los estándares de seguridad y calidad aplicables.
(c) Para el control de calidad de producción de cemento asfáltico no modificado, la medida de la viscosidad puede realizarse por medición de G*/sen□en el reómetro de corte dinámico, a temperaturas de ensaye donde el asfalto se comporta como fluido Newtoniano. Cualquier estándar adecuado de medida de viscosidad puede ser usado, incluyendo ensayes de viscosidad capilar o viscosímetros rotacionales.
(d) La temperatura por usar en la cámara PAV está basada en la simulación de las condiciones climáticas y puede ser 90, 100 o 110°C. La temperatura para los grados asfálticos más altos, a partir de PG 64, es de 100°C, excepto en climas desérticos, donde es 110°C.
(e) Si la rigidez en creep (S) es menor a 300 MPa, el ensaye de tracción directa no se requiere. Si está entre 300 y 600 MPa, se pueden usar los requerimientos de deformación de rotura en el ensaye de tracción directa en vez de los requerimientos de rigidez en creep. El valor-m, en ambos casos, debe ser mayor que 0,300.
(f) G*/senδ = rigidez a altas temperaturas, G* senδ = rigidez a bajas temperaturas.

Tabla 2- 3: Requisitos para los diferentes grados de desempeño SUPERPAVE continuación (Tabla 8.301.8 A del M.C V.8, 2015).

GRADO DE DESEMPEÑO	PG 64						PG 70					
	10	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	40
Temperatura máxima para el diseño, media móvil (7 días) de temp. máx.depavimento,°C[a]	< 64						< 70					
Temperatura mínima del pavimento para el diseño, °C	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40
LIGANTE ASFALTICO ORIGINAL												
Punto de inflamación, 8.302.9, temperatura mínima, °C	230											
Viscosidad, 8.302.24: máx. 3 Pa.s, temperatura ensaye, °C [b]	135											
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*/senδ, mín. 1,00 kPa, temp. ensaye, °C [c]	64						70					
HORNO ROTATORIO DE PELICULA DELGADA RTFOT (8.302.33)												
Pérdida de masa, porcentaje máx.	1,00											
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*/senδ, mín. 2,2 kPa, temp. ensaye, °C	64						70					
CAMARA DE ENVEJECIMIENTO A PRESION PAV (8.302.23)												
Temp. de envejecimiento, °C [d]	100						100 (110)					
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*senδ, máx. 5000 kPa, temp. ensaye, °C (e)	31	28	25	22	19	16	34	31	28	25	22	19
Rigidez en creep , 8.302.25, a 60 s: S máx 300 MPa, valor-m mín 0,300 temp. ensaye, °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30
Tracción directa, 8.302.26, 1 mm/min: Deformación de rotura, mín. 1,0 % Temperatura ensaye, °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30

Tabla 2- 3: Requisitos para los diferentes grados de desempeño SUPERPAVE continuación (Tabla 8.301.8 A del M.C V.8, 2015).

GRADO DE DESEMPEÑO	PG 76					PG 82				
	10	16	22	28	34	10	16	22	28	34
Temperatura máxima para el diseño, media móvil(7 días) de temp.máx. de pavimento,°C[a]	< 76					< 82				
Temperatura mínima del pavimento para el diseño, °C	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34
LIGANTE ASFALTICO ORIGINAL										
Punto de inflamación, 8.302.9, temperatura mínima, °C	230									
Viscosidad, 8.302.24: máx. 3 Pa.s, temperatura ensaye, °C [b]	135									
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*/senδ, mín. 1,00 kPa, temp. ensaye, °C [c]	76					82				
HORNO ROTATORIO DE PELICULA DELGADA RTFOT (8.302.33)										
Pérdida de masa, porcentaje máx.	1,00									
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*/senδ, mín. 2,2 kPa, temp. ensaye, °C	76					82				
CAMARA DE ENVEJECIMIENTO A PRESION PAV (8.302.23)										
Temp. de envejecimiento, °C [d]	100 (110)					100 (110)				
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*senδ, máx. 5000 kPa, temp. ensaye, °C	37	34	31	28	25	40	37	34	31	28
Rigidez en creep , 8.302.25, a 60 s: S máx 300 MPa, valor-m mín 0,300 Temp. ensaye, °C (e)	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24
Tracción directa, 8.302.26, 1 mm/min: Deformación de rotura, mín. 1,0 % Temperatura ensaye, °C	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24

2.1.4 Confiabilidad

Para el cálculo del grado de desempeño, requerido en una zona, se debe tomar en cuenta la confiabilidad que se le quiere asignar. Esta confiabilidad puede tomar cualquier valor de 0% a 100%, los más usuales son 50% y 98%. Esta confiabilidad es la probabilidad, que este valor no sea superado. Cabe señalar que en la metodología SUPERPAVE, se asume que las temperaturas extremas, se distribuyen acorde a la distribución normal de probabilidades. Cada método aplica, de forma diferente la confiabilidad. El modelo inicial de SUPERPAVE (SHRP) y el LTPP (LTPPBind 2.1) utilizan la variabilidad del aire y del modelo, para asignar la confiabilidad. El modelo basado en daño (LTPP 3.1) utiliza un coeficiente de variación anual dependiendo de la zona geográfica.

2.1.5 Cálculo del grado de desempeño

En sus inicios el método SUPERPAVE, contaba con un sistema para el cálculo de la temperatura del pavimento. Durante años posteriores, estas fórmulas fueron mejoradas, teniendo en cuentas, nuevas investigaciones y observaciones en carreteras de pavimento asfáltico en EEUU.

2.1.5.1 Método SHRP

SUPERPAVE inicia el cálculo del grado de desempeño requerido para una zona, con dos modelos, una para el grado de alta temperatura y otra para el de baja temperaturas, ambos requieren datos de temperaturas extremas diarias en un periodo mínimo de 20 años. En el caso de la alta temperatura se considera el promedio de los 7 días consecutivos más calurosos.

- **Alta temperatura**:

Cabe mencionar, que la alta temperatura del pavimento, se calcula a una profundidad de 20 [mm], como se aprecia en la fórmula 2-2.

$$T_{pav\ 20\ mm} = (T_{Aire} - 0{,}00618 * Lat^2 + 0{,}2289 * Lat + 42{,}4) * 0{,}9545 - 17{,}78$$

(Fórmula 2- 2)

$Donde$:

$T_{pav\ 20mm}$: $Máxima\ temperatura\ del\ pavimento\ asfáltico\ a\ una\ profundidad\ de\ 20\ [mm]$ $[°C]$

T_{Aire}: $Promedio\ de\ la\ temperatura\ del\ aire\ para\ el\ periodo\ más\ caluroso\ de\ 7\ días\ consecutivos\ en\ [°C]$

Lat: $Latitud\ geográfica\ de\ la\ zona\ en\ estudio\ en\ grados(\ valor\ absoluto)$

- **Baja temperatura:**

La baja temperatura del pavimento se calcula en la superficie, a una profundidad de 0 [mm], como se aprecia en la fórmula 2-4.

$$T_{pav\ H\ mm} = (T_{Aire} - 0{,}051 * H - 0{,}000063 * H^2)$$

(Fórmula 2- 3)

$$T_{pav\ 0\ mm} = T_{Aire}$$

(Fórmula 2- 4)

$Donde$:

$T_{pav\ 0\ mm}$: $Temperatura\ mínima\ del\ pavimento\ asfáltico\ en\ su\ superficie$ $[°C]$

T_{Aire}: $Temperatura\ mínima\ del\ aire\ en\ un\ año\ promedio\ [°C]$

H: $Profundidad\ en\ [mm]$

Paralelamente, SHRP Canadá, planteó una fórmula menos conservadora que la anterior, para su territorio (fórmula 2-5):

$$T_{pav\ 0\ mm} = 0{,}859 * T_{Aire} + 1{,}7\ [°C]$$

(Formula 2- 5)

$Donde$:

$T_{pav\ 0\ mm}$: $Temperatura\ mínima\ del\ pavimento\ asfáltico\ en\ su\ superficie$

T_{Aire}: $Temperatura\ mínima\ del\ aire\ en\ un\ año\ promedio\ [°C]$

2.1.5.2 Método LTPP 2.1

El "Programa de desempeño de pavimentos a largo plazo" (**L**ong-**T**erm **P**avement **P**erformance Program, LTPP), es un programa que busca mejorar entre otras cosas, el cálculo de la temperatura del pavimento, ya que el método propuesto inicialmente por SHRP no era del todo correcto, por tanto, entre los años 1993 y 1995 se realizaron mediciones en terreno, de la temperatura del pavimento y del aire, para finalmente obtener nuevos modelos que estimen la temperatura del pavimento.

Esta investigación busca mejorar los modelos, que calculan la temperatura de los pavimentos, ya que originalmente existían falencias, por ejemplo, la baja temperatura del pavimento se consideraba igual a la del aire, lo cual es un resultado demasiado conservador, confirmando lo anterior, se tiene que el valor de temperatura entregada por el modelo SHRP, podía resultar hasta 12°C más baja que las mediciones en terreno. Para el modelo de alta y baja temperatura se considera de mejor manera la confiabilidad, teniendo incorporado en las fórmulas la variabilidad del modelo y de la temperatura del aire.

Los modelos fueron obtenidos, buscando correlaciones entre la variable dependiente (temperatura del pavimento) e independientes (latitud, profundidad, temperatura del aire), finalmente se utilizan las que tuvieron mejor correlación, que en ambos casos (baja y alta temperatura) fueron temperatura del aire, logaritmo en base 10 de la profundidad y latitud^2 (latitud al cuadrado).

A continuación, se detallan cada uno de los modelos:

- **Alta temperatura**: Fórmula 2-6.

$$T_{pav\ H\ mm} = 54{,}32 + 0{,}78 * T_{aire} - 0{,}0025 * Lat^2 - 15{,}14 * Log_{10}(H + 25) + Z * (9 + 0{,}61 * (\sigma_{AIRE})^2)^{\frac{1}{2}}$$

(Fórmula 2- 6)

$Donde$:

$T_{pav\ H\ mm}$: $Máxima\ temperatura\ del\ pavimento\ asfáltico\ a\ una\ profundidad\ de\ H\ [mm]$ $[°C]$

T_{Aire}: $Promedio\ de\ la\ temperatura\ del\ aire\ para\ el\ periodo\ más\ caluroso\ de\ 7\ dias\ consecutivos\ en\ [°C]$

Lat: $Latitud\ geográfica\ de\ la\ zona\ en\ estudio\ en\ grados$

H: $Profundidad\ en\ [mm]$

σ_{AIRE}: $Desviación\ estándar\ del\ aire\ en\ el\ periodo\ más\ caluroso\ de\ 7\ dias\ consecutivos\ [°C]$

Z: $Variable\ estandar\ de\ la\ distribución\ normal$

Cabe mencionar que para una confiabilidad de un 50% se tendría un Z=0 y para un 98 % Z=2,055

- **Baja temperatura**: Fórmula 2-7

$$T_{pav\ H\ mm} = -1{,}56 + 0{,}72 * T_{aire} - 0{,}0004 * Lat^2 + 6{,}26 * Log_{10}(H + 25) + Z * (4{,}4 + 0{,}52 * (\sigma_{AIRE})^2)^{\frac{1}{2}}$$

(Fórmula 2- 7)

$Donde$:

$T_{pav\ H\ mm}$: $Temperatura\ mínima\ del\ pavimento\ asfáltico\ a\ una\ profundidad\ de\ H\ [mm]$ $[°C]$

T_{Aire}: $Temperatura\ mínima\ del\ aire\ para\ el\ periodo\ en\ estudio\ [°C]$

Lat: $Latitud\ geográfica\ de\ la\ zona\ en\ estudio\ en\ grados$

H: $Profundidad\ en\ [mm]$

σ_{AIRE}: $Desviación\ estándar\ de\ las\ temperaturas\ mínimas\ para\ el\ periodo\ en\ estudio\ [°C]$

Z: $Variable\ estándar\ de\ la\ distribucion\ normal$

Cabe mencionar que para una confiabilidad de un 50% se tendría un Z=0 y para un 98% un Z=2,055

Estas fórmulas son implementadas en el programa computacional LTPPBind 2.1

2.1.5.3 Método Software LTPP 3.1(Basado en Daño)

En el año 2005, surge una nueva metodología para el cálculo del grado de alta temperatura, desarrollada por Alaeddin Mohseni, Samuel Carpenter y Jhon D'Angelo, fue presentado en la Association of Asphalt Paving Technologists 2005 (AAPT 2005). Esta nueva metodología busca corregir un problema de los modelos anteriores, los cuales no consideran la duración de las altas temperaturas, por ejemplo, en los estados de Oregón y Florida, se tenía una temperatura de diseño similar según el modelo SHRP, pero en Florida, estas temperaturas se extienden por más tiempo que en Oregón, por lo cual los pavimentos asfálticos en Florida eran más susceptibles al ahuellamiento. Cabe mencionar, que a mayor tiempo se exponga un pavimento a altas temperaturas, mayor será la formación de ahuellamiento. En otras palabras, los dos métodos anteriores (SHRP y LTPP 2.1) recomiendan ligantes muy blandos a zonas, donde se tienen periodos de calor más extensos de lo normal, lo cual acarrea problemas de ahuellamiento.

El modelo basado en daño, fue desarrollado en los siguientes pasos:

1) Recopilación de datos de temperatura horaria del aire. Se lograron encontrar 270 sitios con datos horarios para un periodo de 20 años.

2) Cálculo de la temperatura horaria del pavimento, a una profundidad de 20 [mm], por medio de un modelo climático integrado (ICM).

3) Cálculo de la rigidez de mezclas asfálticas, para todas las temperaturas y grados de desempeño de los ligantes asfálticos.

4) Cálculo de las repeticiones, que generan la falla de las mezclas asfálticas, para cada rigidez y temperatura del pavimento. La falla se considera cuando el pavimento llega al máximo ahuellamiento permitido, todo lo anterior, se realiza gracias a un modelo de deformaciones permanentes.

5) Cálculo de la distribución horaria de las temperaturas del pavimento, un ejemplo se muestra en la figura 2-7, en la que se aprecia la distribución horaria de una estación en el estado de Texas, donde se puede ver la cantidad de horas, en que el pavimento estuvo a una cierta temperatura en un periodo de 20 años.

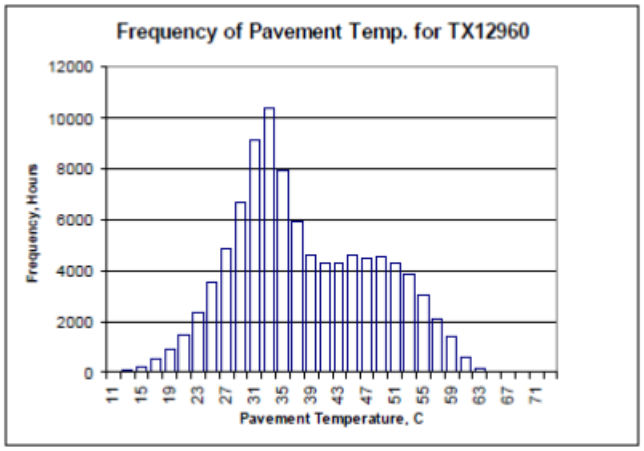


Figura 2-7: Frecuencia en horas para diferentes temperaturas de una estación en Texas, EEUU (Mohseni A. et al., 2005).

6) Luego se asume un tránsito de 3 millones de ejes equivalentes simples y una vida útil del pavimento asfáltico de 20 años, con lo cual resulta un tránsito de 17 ejes equivalentes simples por hora asumiendo una distribución uniforme durante los 20 años.

Luego este número de ejes equivalentes por hora, se multiplica por la cantidad de horas en la que se tendrá cierta temperatura, durante los 20 años de vida útil para obtener los ejes aplicados.

7) Finalmente se calcula el daño acumulado para cada temperatura, a la cual se encontrará el pavimento asfáltico. Se comienza calculando el daño acumulado para el ligante menos rígido (PG 40), si el daño acumulado resulta mayor a 1, se realiza el cálculo nuevamente con un PG 41. Este proceso se realiza las veces que fuese necesario, hasta obtener un daño acumulado menor o igual a 1. En la fórmula 2-8 se muestra el cálculo del daño acumulado.

$$Daño\ acumulado = \sum_{0°C}^{100°C} \frac{NA_{T°}}{NF_{T°}}$$

(Fórmula 2- 8)

$Donde$:

NA: $Número\ de\ ejes\ equivalentes\ simples\ aplicados\ para\ cierta\ temperatura.$

NF: $Número\ de\ ejes\ equivalentes\ simples\ que\ se\ deben\ aplicar\ para\ obtener\ el\ ahuellamiento\ permitido(falla), a\ cierta\ temperatura.$

En la figura 2-8 se aprecia el proceso iterativo realizado para una estación del estado de Texas, donde con el ligante PG40, resulta con un daño acumulado cercano a 6, finalmente el ligante PG63 da como resultado un daño menor a 1.

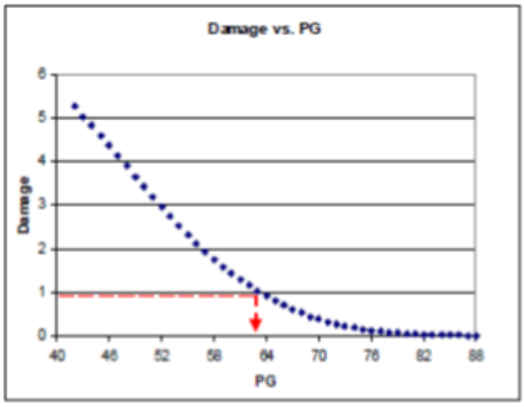


Figura 2-8: Daño acumulado para diferentes ligantes asfálticos (Mohseni A. et al., 2005).

8) Una vez que se tiene el PG por daño para las 270 estaciones, se debe obtener una fórmula, para relacionar el modelo de daño con datos diarios de temperatura, y con esto poder aplicarse a todas las estaciones con datos diarios de temperatura que en EEUU son casi 8.000.

Para este último punto, se realizó una filtración de estaciones, donde una serie de requisitos concluyó con que sólo 186 estaciones fueran consideradas para la obtención de la fórmula.

Al igual que en las fórmulas de cálculo de temperaturas LTPP 2.1, se buscaron correlaciones entre la variable independiente y las dependientes, la variable independiente era el grado de desempeño de alta temperatura del pavimento basado en daño y las variables dependientes las siguientes:

- Temperatura del aire promedio para los 7 días más calurosos: esta variable obtuvo una baja correlación por lo cual no se utilizó en el modelo.
- Grados-días (DD): Esta variable hace alusión a la suma acumulada de las temperaturas máximas diarias sobre cierto rango para los 6 meses más calurosos del año, se deben tener como mínimo datos de 20 años, se expresa en la unidad [1000°C-Días]. Grados-días sobre 10°C obtuvo una buena correlación por lo cual fue utilizada en el modelo.

Al intentar combinar las dos variables anteriores, no se obtuvieron buenos resultados por lo que se decidió usar grados-días sobre 10°C y ahuellamiento permitido en la fórmula.

En este caso se calculará los grados-días sobre 10°C para cada año, con un mínimo de 20 años. El modelo resultante se aprecia en la fórmula 2-9.

$$PG_d = 48{,}2 + 14 * DD_{aire} - 0{,}96 * (DD_{aire})^2 - 2 * RD$$

(Fórmula 2- 9)

$Donde$:

PG_d: $Grado\ de\ alta\ temperatura\ basado\ en\ daño \quad [°C]$

DD_{aire}: $Promedio\ de\ las\ sumas\ anuales\ de\ Grados - días\ sobre\ 10°C \quad [1000°C - Días]$

RD: $Profundidad\ del\ ahuellamiento\ permitido\ (5 - 13\ mm)\ [mm]$

Un cambio importante en esta nueva metodología, es la manera de calcular la confiabilidad, en la cual se toma en cuenta la variabilidad anual de las condiciones climáticas, dado que el mayor daño por ahuellamiento, se produce durante los primeros años de construcción del pavimento asfáltico. Existe un riesgo, que se produzca un año más caliente que el promedio durante ese periodo. Luego de un estudio, se llegó a la conclusión de que el coeficiente de variación anual del PG, se correlacionaba de buena manera con la latitud por lo cual se obtuvo la fórmula 2-10.

$$CV_{PG} = 0{,}000034 * (Lat - 20)^2 * RD^2$$

(Fórmula 2- 10)

$Donde$:

CV_{PG}: $Coeficiente\ de\ variación\ anual\ del\ PG \quad [\%]$

Lat: $Latitud\ geográfica\ de\ la\ zona\ en\ estudio\ en\ grados$

RD: $Profundidad\ del\ ahuellamiento\ permitido\ (5 - 13\ mm)\ [mm]$

Finalmente combinando las fórmulas 2-9 y 2-10 se obtiene la fórmula 2-11.

$$PG_{confiabilidad} = PG_d + Z * PG_d * \frac{CV_{PG}}{100}$$

(Fórmula 2- 11)

$Donde$:

$PG_{Confiabilidad}$: $Grado\ de\ alta\ temperatura\ basado\ en\ daño\ LTPP\ 3.1\ para\ cierta\ confiabilidad \quad [°C]$

CV_{PG}: $Coeficiente\ de\ variación\ anual\ del\ PG \quad [\%]$

Z: $Variable\ estándar\ de\ la\ distribución\ normal$

PG_d: $Grado\ de\ alta\ temperatura\ basado\ en\ daño\ LTPP\ 3.1 \quad [°C]$

Para el cálculo del grado de desempeño a bajas temperaturas se utilizan las fórmulas descritas en el punto 2.1.5.2.

Estas fórmulas son implementadas en el programa computacional LTPPBind 3.1

2.2 Clasificación climática de Chile según sistema Köppen

En el año 1884 el climatólogo alemán Wladimir Köppen, creo una clasificación climática basada en el comportamiento de las temperaturas y precipitaciones, la cual posteriormente fue mejorada por el mismo en conjunto con Rudolf Geiger. Esta clasificación tiene la particularidad de dividir los climas del mundo en cinco grupos principales, identificados por la primera letra mayúscula y seguidos por letras minúsculas o mayúsculas dependiendo de la zona. En el año 2006, esta clasificación es aplicada al territorio chileno por los investigadores Reinaldo Rioseco y Claudio Tesser

Codificación Según Wladimir Köppen

- La primera letra o letra principal (Grupo climático)

Se distinguen cinco grupos climáticos principales, definidos por umbrales térmicos y de precipitación, que corresponden a las grandes formaciones de vegetación. Estos climas son designados con las primeras letras del alfabeto, escritas en mayúscula: **A, B, C, D** y **E**. las cuales se describen en la tabla 2-4.

Tabla 2-4: Clasificación de la letra principal según Wladimir Köppen.

Letra	Umbral Térmico	Clima	Formación de vegetación
A	Temperatura media mensual superior a 18°C.	Cálidos: tropical lluvioso, sabana, monzón.	Bosque ecuatorial o selva tropical, sabana
B	La evaporación supera a la precipitación.	Secos: áridos y semiáridos.	Desierto, estepa
C	La temperatura media del mes más frío es inferior a 18°C y superior a -3°C.	Templados: de lluvias estacionales y lluvias todo el año.	Bosque templado y matorral
D	La temperatura media del mes más frío es inferior a -3°C y la del mes más cálido es superior a 10°C.	Boreales: de lluvias estacionales y lluvias todo el año.	Bosque de coníferas
E	En ningún mes la temperatura media supera los 10°C.	Fríos: tundra y hielo.	Tundra y ausencia de vegetación por presencia de hielo

- La segunda letra mayúscula

El sistema de codificación incluye en ocasiones una segunda letra mayúscula a continuación de la primera, la cual indica ciertas particularidades climáticas. Esta segunda letra mayúscula puede aparecer en los climas secos (B) que se subdividen en climas semiáridos (BS) y áridos (BW) o bien, para los climas fríos (E) el que se subdivide en climas de tundra (ET) y hielo (EF). Como se describen en la tabla 2-5.

Tabla 2-5: Clasificación de la segunda letra mayúscula según Wladimir Köppen.

Grupo climático principal	Grupo climático secundario	Condición
B		
	BS (Steppe) **Estepa** o **Semiárido**	*Si hay lluvias en invierno, la precipitación anual, en centímetros, debe ser igual o inferior al doble del valor de la temperatura media anual. *Si hay lluvias en verano, la precipitación anual, en centímetros, debe ser igual o inferior al doble de la temperatura media anual más 28°C. *Si las lluvias son irregulares, la precipitación anual, en centímetros, debe ser igual o inferior al doble de la temperatura media anual más 14°C.
	BW (Wüste) **Desierto** o **Árido**	*Si hay lluvias en invierno, la precipitación anual, en centímetros, debe ser igual o inferior a la temperatura media anual. *Si hay lluvias en verano, la precipitación anual, en centímetros, debe ser igual o inferior a la temperatura media anual más 14°C. *Si las lluvias son irregulares, la precipitación anual, en centímetros, debe ser igual o inferior a la temperatura media anual más 7°C.
E		
	ET (Tundre) **Tundra**	*La temperatura media del mes más cálido debe estar entre 0°C y 10°C.
	EF (Frost) **Hielo**	*La temperatura media del mes más cálido debe ser menor a 0°C.

Cuando la influencia de la altura del relieve es relevante, sobre los 3.000 m.s.n.m., en la caracterización del clima, se hace uso de la letra **H**, en primera, segunda o tercera posición, dependiendo de las particularidades de cada caso.

- La segunda letra minúscula (particularidades pluviométricas)

Se utiliza una letra minúscula para caracterizar el comportamiento de las lluvias, se utilizan 5 letras las cuales hacen referencia a la estación seca: **f** (fehlt), ausencia de estación seca; **w** (winter), estación seca en invierno; **s** (sommer), estación seca en verano; **m** (monzón), estación seca determinada por los vientos monzónicos. Las características de cada subgrupo se describen en la tabla 2-6.

Tabla 2-6: Clasificación de la segunda letra minúscula según Wladimir Köppen.

Grupo climático	Segunda letra	Características pluviométricas
A		
	f	*La Precipitación del mes más seco es mayor a 60 mm
	m	*La precipitación del mes más seco es menor a 60 mm e igual o superior a : 100 mm *(Precipitación media anual en mm/25)
	w	*La precipitación del mes más seco es menor a 60 mm y también inferior a : 100 mm *(Precipitación media anual en mm/25)
BS		
	s	*La precipitación de invierno (HS: de abril a septiembre, HN : de octubre a marzo) en centímetros es igual o menor a dos veces la temperatura media anual en grados Celsius.
	w	*La precipitación de verano (HS: de octubre a marzo, HN : de abril a septiembre) en centímetros es igual o menor a dos veces la temperatura media anual en grados Celsius más 14°C.
	f	*La precipitación anual en centímetros es igual o menor a dos veces la temperatura media anual en grados Celsius más 7°C.
BW		
	s	*La precipitación de invierno (HS: de abril a septiembre, HN : de octubre a marzo) en centímetros es igual o menor a la temperatura media anual en grados Celsius.
	w	*La precipitación de verano (HS: de octubre a marzo, HN : de abril a septiembre) en centímetros es igual o menor a la temperatura media anual en grados Celsius más 14°C.
	f	*La precipitación anual en centímetros es igual o menor a la temperatura media anual en grados Celsius más 7°C.
C		
	s	*La precipitación del mes más seco en verano es inferior a un tercio de la del mes más lluvioso de invierno.
	w	*La precipitación del mes más lluvioso en verano es, a lo menos, diez veces mayor que la precipitación del mes más seco de invierno.
	f	*Carece de una estación seca, El monto de precipitación del mes más lluvioso está comprendido entre tres y diez veces la precipitación del mes más seco.
D		
	s	*La precipitación del mes más seco en verano es inferior a un tercio de la del mes más lluvioso de invierno.
	w	*La precipitación del mes más lluvioso en verano es, a lo menos, diez veces mayor que la precipitación del mes más seco de invierno.
	f	*Carece de una estación seca, El monto de precipitación del mes más lluvioso está comprendido entre tres y diez veces la precipitación del mes más seco.
E		
	En este grupo climático, la segunda letra no es ni minúscula ni denota una característica pluviométrica, sino que es mayúscula y precisa un rasgo térmico.	
	T	*El mes más cálido tiene una temperatura media entre 0°C y 10°C.
	F	*El mes más cálido tiene una temperatura media inferior a 0°C.

- La tercera letra minúscula (Particularidades térmicas)

Esta tercera letra minúscula, que se ubica generalmente en la tercera ubicación de la codificación Köppen, posterior a la letra de características pluviométricas, caracteriza el comportamiento térmico anual de la zona en estudio, cada subgrupo se describe en la tabla 2-7.

Tabla 2-7: Clasificación de la tercera letra minúscula según Wladimir Köppen.

Grupo climático	Tercera letra	Características térmicas
A		
	g	*Régimen térmico del Ganges, con máximo térmico mensual anterior al solsticio de verano del hemisferio respectivo.
	g´	*Régimen térmico del Sudán, con máximo térmico mensual posterior al solsticio de verano del hemisferio respectivo.
BS		
	h (heiss)	*La temperatura media anual es superior a 18°C.
	k (kalt)	*La temperatura media anual es inferior a 18°C.
	k´	*la temperatura media anual y media mensual del mes más cálido es inferior a 18°C.
BW		
	h	*La temperatura media anual es superior a 18°C.
	k	*La temperatura media anual es inferior a 18°C.
	k´	*la temperatura media anual y media mensual del mes más cálido es inferior a 18°C.
	n (nebel)	Presencia frecuente de nieblas.
C		
	a	*La temperatura media del mes más cálido es superior a los 22°C.
	b	*La temperatura media del mes más cálido es inferior a los 22°C y, al menos, cuatro meses, con temperaturas medias que superan los 10°C.
	c	*La temperatura media del mes más frío es superior a -38°C y el mes más cálido es inferior a 22°C, y menos de cuatro meses tienen una temperatura media que supera los 10°C.
	l (lauwarm)	*Las temperaturas medias de todos los meses del año se encuentran entre 10°C y 22°C.
D		
	a	*La temperatura media del mes más cálido es superior a los 22°C.
	b	*La temperatura media del mes más cálido es inferior a los 22°C y, al menos, cuatro meses, con temperaturas medias que superan los 10°C.
	c	*La temperatura media del mes más frío es superior a -38°C y el mes más cálido es inferior a 22°C, y menos de cuatro meses tienen una temperatura media que supera los 10°C.
	l	*Las temperaturas medias de todos los meses del año se encuentran entre 10°C y 22°C.
	d	*La temperatura media mensual del mes más frío es inferior a los -38°C.
E		

- Otras letras, en minúscula (Particularidades específicas)

Se incorporan nuevas letras o comillas a la codificación Köppen, para indicar la existencia de matices en las características pluviométricas o térmicas. En la tabla 2-8 se muestran algunos casos.

Tabla 2-8: Clasificación de casos especiales según Wladimir Köppen.

Letras minúsculas	Características
i	*Régimen isotérmico,cuya amplitud térmica anual no sobrepasa los 5°C.
n´	*Nieblas raras, pero mucha humedad del aire y falta de lluvias con una temperatura relativamente baja (verano con menos de 24°C).
n´´	*Nieblas raras, pero mucha humedad del aire y falta de lluvias con una temperatura en verano entre 24°C y 28°C.
n´´´	*Nieblas raras, pero mucha humedad del aire y falta de lluvias con una temperatura en verano sobre 28°C.
s´	*La época más seca en el verano del hemisferio correspondiente y con la temporada de lluvias retrasada hasta el otoño.
s´´	*La época más seca en el verano del hemisferio correspondiente y con la temporada de lluvias dividida en dos períodos, con una corta temporada de sequía intercalada.
v	*La época más caliente está retrasada hasta el otoño y los valores de la temperatura son semejantes a los registrados en las Islas de Cabo Verde.
w´	*La época más seca es en el invierno del hemisferio correspondiente y con la temporada de lluvias retrasada hasta el otoño.
w´´	*La época más seca es en el invierno del hemisferio correspondiente y con la temporada de lluvias dividida en dos períodos, con una corta temporada de sequía intercalada.
x	*Maxima de las lluvias en primavera y al principio del verano.
x´	*Lluvias ocasionales, pero intensas, en todas las estaciones.

En Chile existe una zonificación de Köppen, realizada por Rioseco y Tesser (2006), la cual entrega la división por zonas climáticas de todo el territorio chileno, esta zonificación se presenta en la Figuras 2-9 y 2-10.

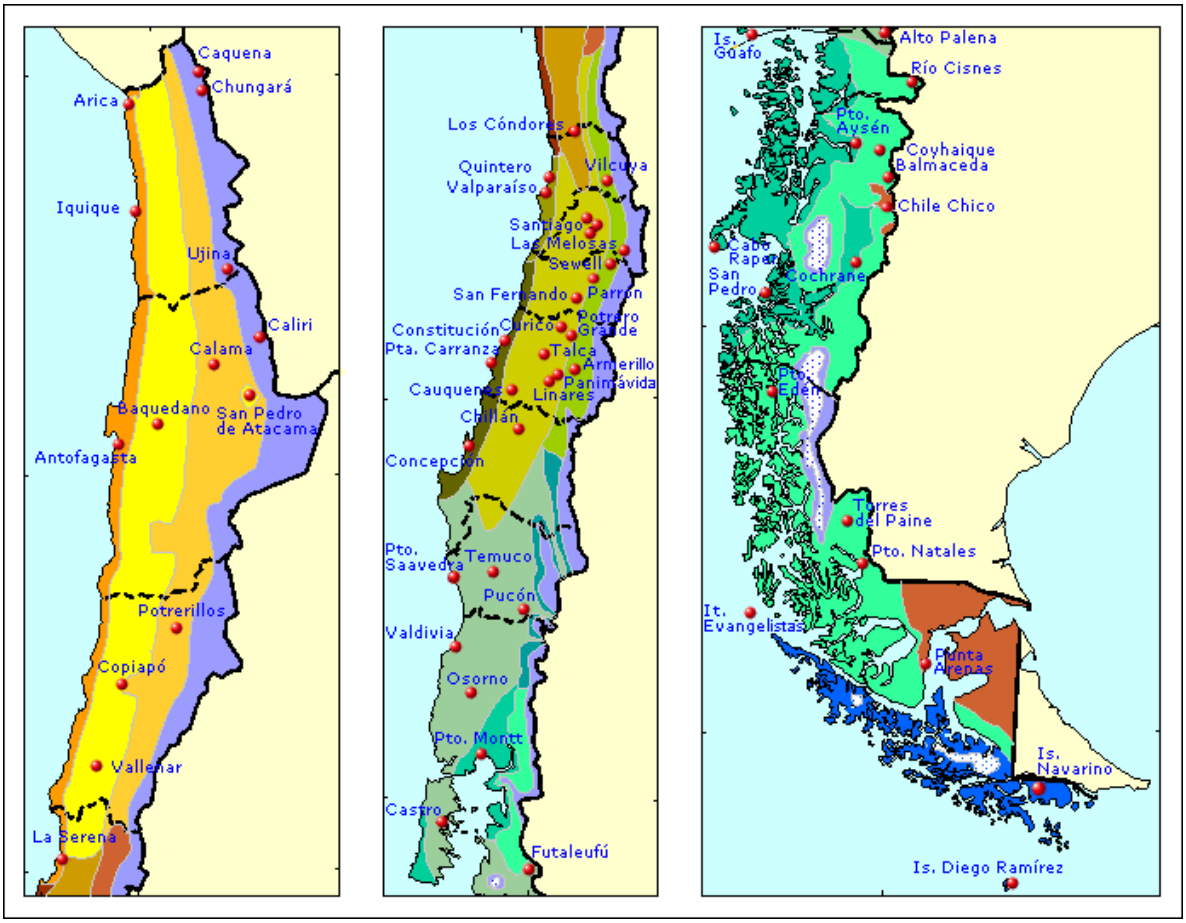


Figura 2-9: Clasificación Köppen del territorio chileno (Rioseco y Tesser ,2006).

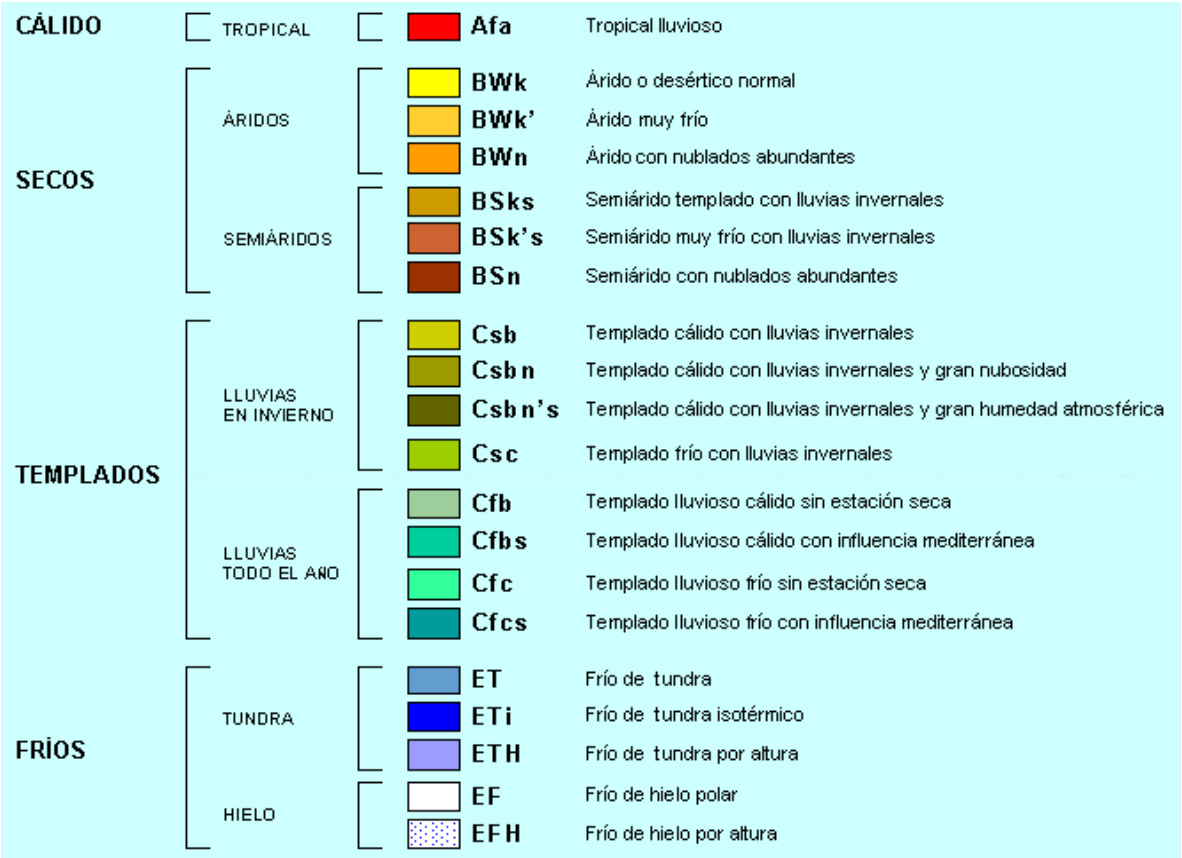


Figura 2-10: Climas de la clasificación Köppen presentes en Chile (Rioseco y Tesser ,2006).

2.3 Estudios previos de Zonificaciones SUPERPAVE para Chile

Durante años anteriores, se realizaron trabajos sobre la misma temática que trata el presente trabajo. Segovia (2015) plantea en su trabajo "Zonificación SUPERPAVE para Chile y Estudio Preliminar de la Influencia del Cambio Climático en el Desempeño de Pavimentos en Chile" una metodología para definir áreas de influencia de cada estación y aplicar estudios de calentamiento global a una clasificación SUPERPAVE, todo lo anterior aplicado al cálculo de la temperatura del pavimento descrito en el punto 2.1.5.1. Morales (2013) en su trabajo "Zonificación de temperaturas para la evaluación y aplicación de mezclas asfálticas diseñadas según la metodología SUPERPAVE para el uso en Chile", aplica las fórmulas descritas en el punto 2.1.5.1 y 2.1.5.2 para obtener una zonificación SUPERPAVE para Chile.

2.3.1 Zonificación SUPERPAVE Mauricio Segovia

Segovia realiza una zonificación SUPERPAVE de todo Chile continental utilizando las fórmulas SHRP descritas en el punto 2.1.5.1, estas son aplicadas para un total de 94 estaciones a lo largo de todo Chile, las cuales casi en su totalidad, poseen como mínimo 20 años de datos completos. Estas estaciones son recopiladas de las bases de datos de la Dirección General de Aguas (DGA) y de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC). Se realizaron mapas de chile para un 50% y un 98% de confiabilidad. Para delimitar el área de influencia de cada estación se utilizó la clasificación por el sistema köppen de Chile (Rioseco y Tesser, 2006) y curvas de nivel. Presenta una metodología a seguir para cuantificar el cambio climático en las estaciones seleccionadas, a partir de una simulación climática realizada por la Dirección Meteorológica de Chile (DMC). Segovia logra abarcar el territorio chileno con solo 4 ligantes asfálticos, de los cuales 3 son tradicionales y 1 modificado.

En las figuras 2-11 y 2-12, se presentan las zonificaciones resultantes para un 50% y 98% de confiabilidad respectivamente.

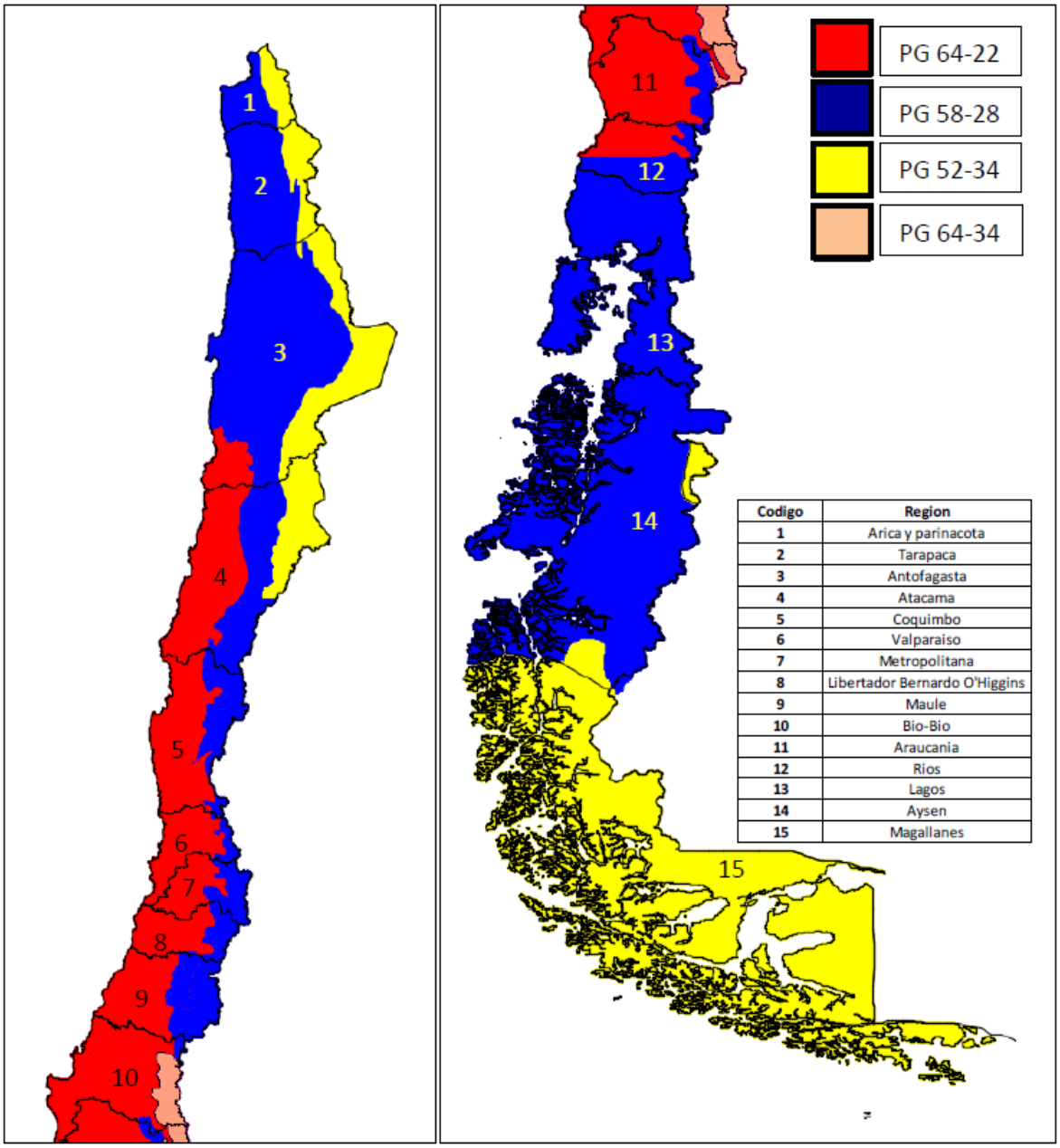
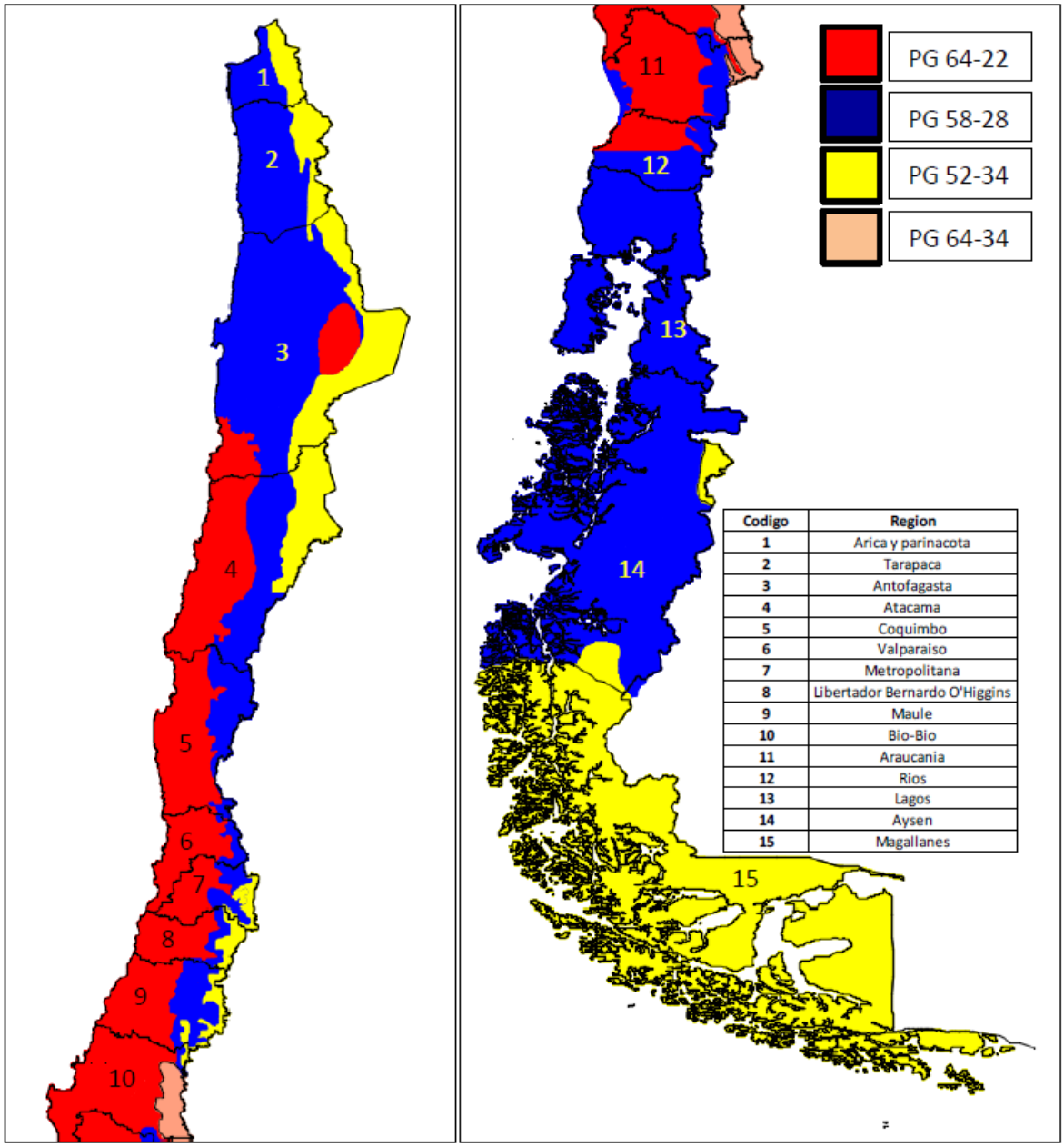


Figura 2-11: Zonificación SUPERPAVE de Chile para una confiabilidad del 50% según SHRP (Segovia, 2015).



** BALMACEDA (PG52-34): 68% de confiabilidad para alta y baja temperatura*

**LAGUNILLAS y LIUCURA (PG64-34): 68% de confiabilidad para baja temperatura*

Figura 2-12: Zonificación SUPERPAVE de Chile para una confiabilidad del 98%, según SHRP (Segovia, 2015).

2.3.2 Zonificación SUPERPAVE David Morales

Morales (2013) calcula la temperatura del pavimento asfáltico, según las fórmulas del SHRP y LTPP 2.1, descritas en los puntos 2.1.5.1 y 2.1.5.2 respectivamente. Finalmente realiza una zonificación SUPERPAVE de Chile, usando las fórmulas LTPP 2.1. Utiliza 109 estaciones a lo largo de Chile, las cuales provienen de anuarios climatológicos y agroclimáticos, además de información de la página WEB de la Dirección Meteorológica de Chile, cabe señalar que solo 26 estaciones cumplen con el mínimo de 20 años de datos que plantea SUPERPAVE. Utiliza principalmente 3 elementos para realizar el mapa de zonificación y el cálculo del área de influencia de cada estación, estos elementos son:

- Mapa isotérmico de Chile.
- Mapa del relieve de Chile (cota 2000).
- Clasificación por el sistema Köppen de Chile.

En la figura 2-13, se presenta la zonificación resultante para un 98% de confiabilidad.

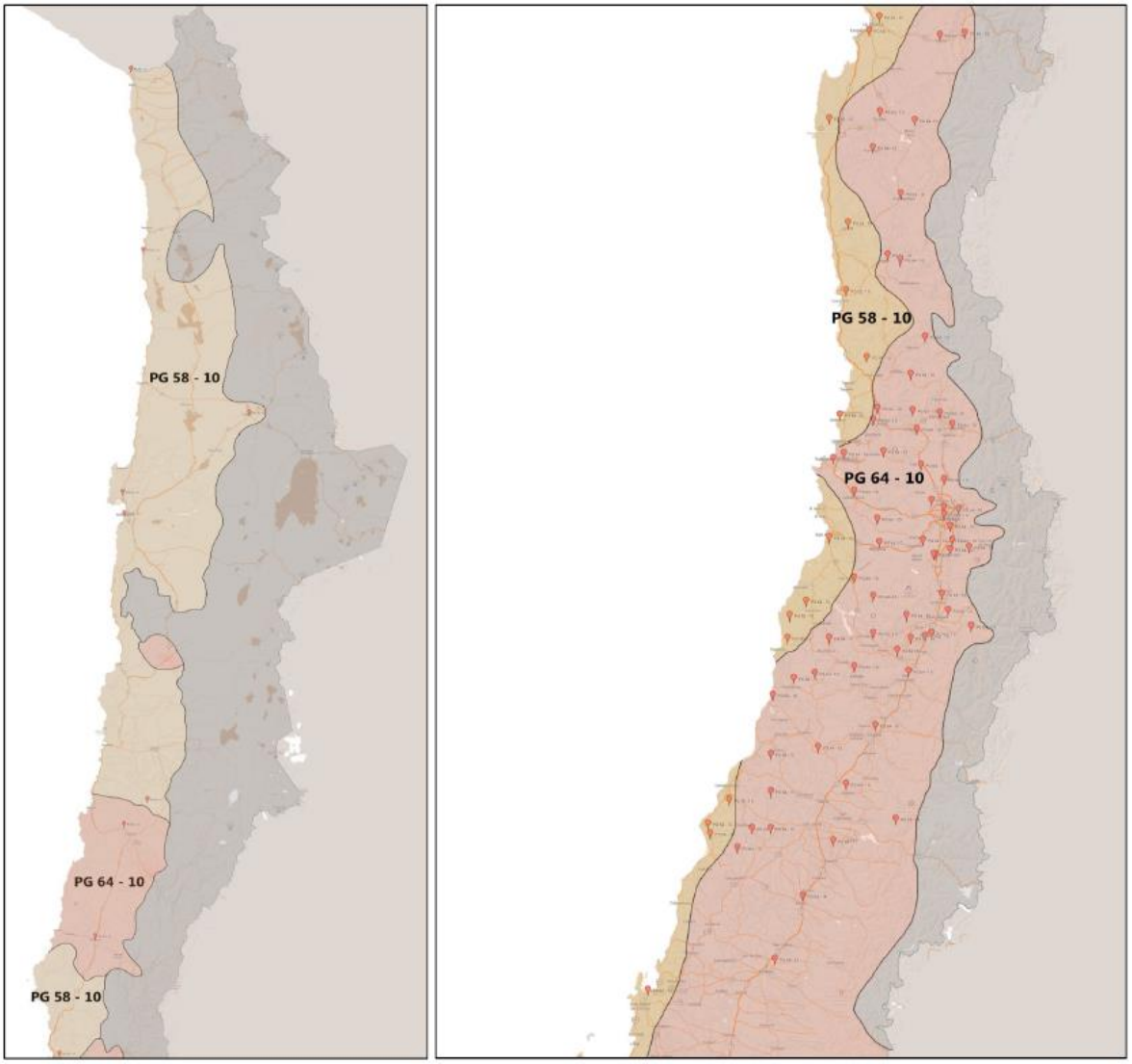


Figura 2-13: Zonificación SUPERPAVE de Chile para una confiabilidad del 98% (Morales, 2013).

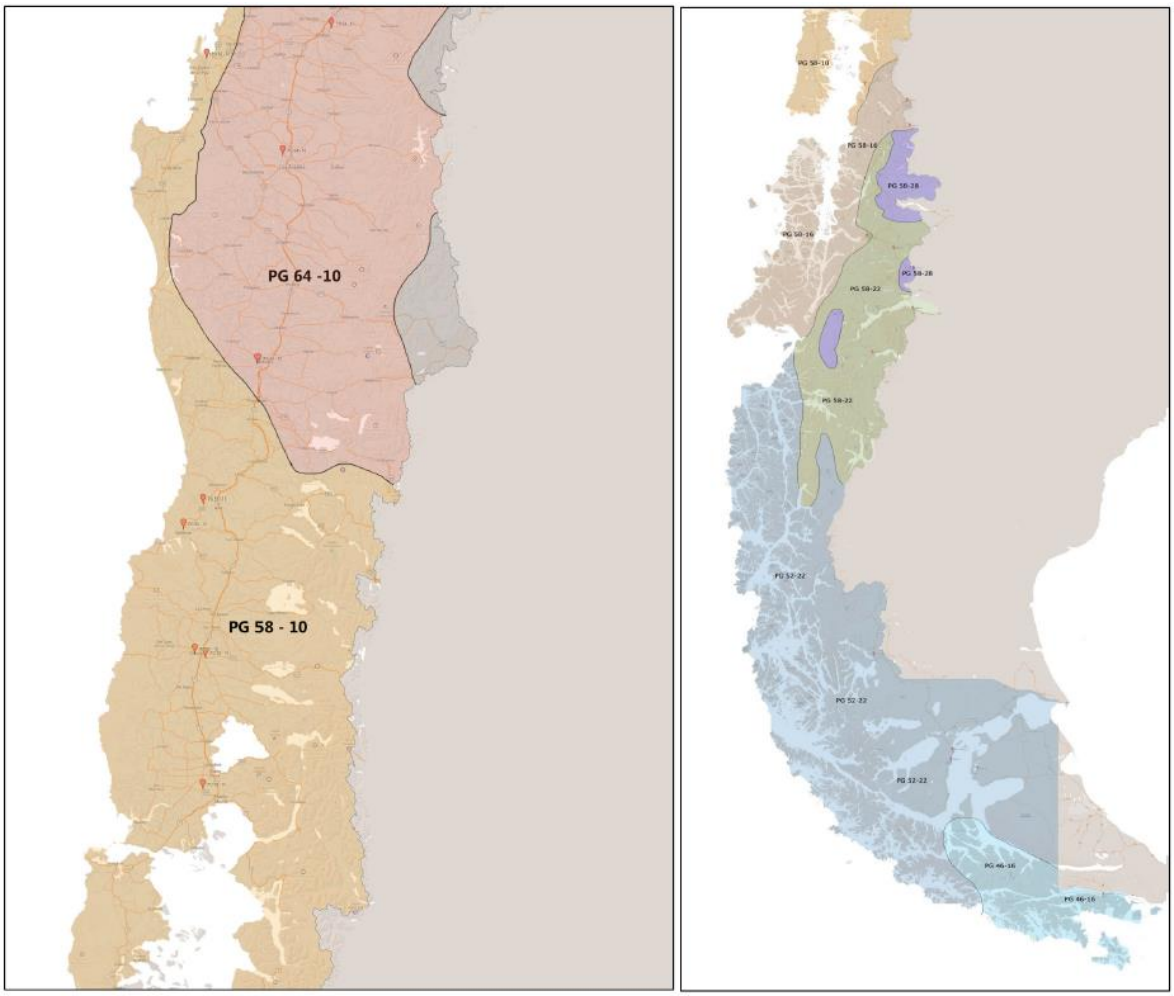


Figura 2-13: Zonificación SUPERPAVE de Chile para una confiabilidad del 98%, Continuación (Morales, 2013).

2.4 Cambio climático proyectado por la DMC

En los últimos años, es de conocimiento general, que en el planeta están ocurriendo cambios climáticos, los cuales se pueden notar en el día a día, provocados por la emisión de gases de efecto invernadero hacia la atmósfera. El efecto invernadero se provoca de forma natural en el planeta, pero las actividades humanas en las últimas décadas, están generando un aumento del mismo, al quemar combustibles fósiles como petróleo, carbón, entre otros, lo que conlleva a un aumento de la temperatura del planeta. En la figura 2-14 se aprecia lo explicado anteriormente. Por esta razón en el año 1988, se creó el Grupo Intergubernamental Sobre el Cambio Climático (IPCC) por iniciativa de la Organización Meteorológica Mundial (WMO) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). En 1990 este grupo presentó el primer informe de evaluación, donde cerca de 400 científicos concluyeron, que el calentamiento atmosférico de la tierra era real y que se debían tomar medidas, es por ello que en 1992 se firma en Río de Janeiro la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

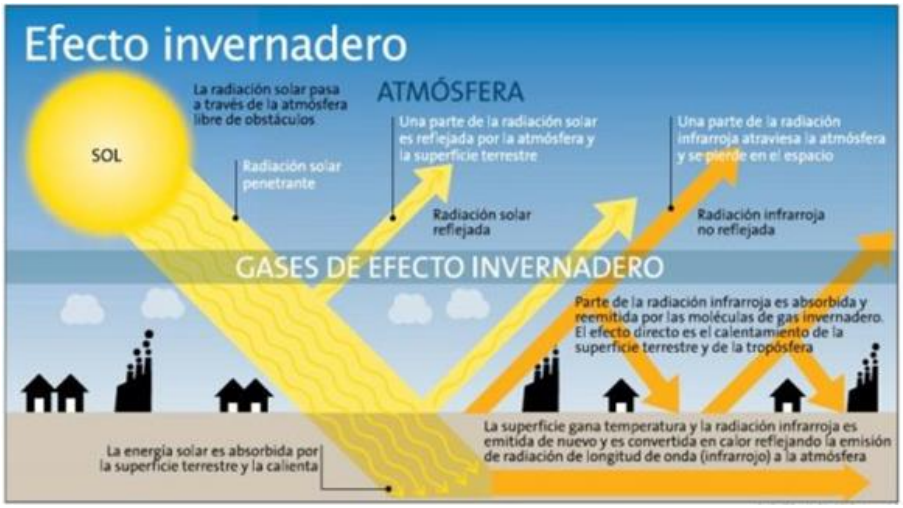


Figura 2-14: Ilustración del efecto invernadero

En el año 2007 es publicado el cuarto informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (AR4 IPCC, 2007), en el cual se hace énfasis que gran parte del calentamiento global es causada por el aumento de emisión de gases de efecto invernadero derivados de actividades humanas, lo anterior fue ratificado por el quinto informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (AR5 IPCC, 2014).

Para las proyecciones de calentamiento global, existe una dificultad, ya que no es posible calcular las emisiones de gases de efecto invernadero en el futuro, por lo tanto, los científicos crean escenarios futuros, los que buscan simular diferentes situaciones que pueden ocurrir. Estos escenarios son llamados RCPs (Representative Concentration Pathways) y son caracterizados dependiendo del grado de futuras emisiones de gases de efecto invernadero. A continuación, se presentan los cuatros escenarios:

- RCP 2.6: Asume que las emisiones globales anuales de gases de efecto invernadero alcanzaran su máximo entre los años 2010-2020, este es el escenario más optimista ya que considera medidas inmediatas, las cuales no se han realizado.

- RCP 4.5: Asume que las emisiones globales anuales de gases de efecto invernadero alcanzaran su máximo en el año 2040.
- RCP 6.0: Asume que las emisiones globales anuales de gases de efecto invernadero alcanzaran su máximo en el año 2080.
- RCP 8.5: Asume que las emisiones globales anuales de gases de efecto invernadero seguirán aumentando durante todo el siglo XXI, no encontrando su máximo en este periodo, este es el escenario más pesimista, ya que asume que no se tomará ninguna medida para disminuir la emisión de gases de efecto invernadero.

Las emisiones globales anuales de gases de efecto invernadero son medidas en CO_2 - equivalente, al ser este el gas más emitido por las actividades humanas.

En la figura 2-15, se presenta el cambio de temperatura en la superficie de la tierra para los escenarios RCP 2.6 y RCP 8.5.

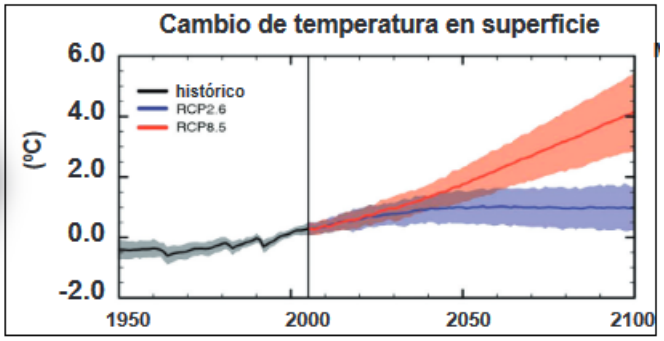


Figura 2-15: Cambio de temperatura en la superficie de la tierra para el periodo histórico y los escenarios RCP 2.6 y RCP 8.5 (Alcafuz et al., 2014).

El working Group Coupled Modelling (WGCM), afiliado a la WMO, en ayuda del IPCC realizó el proyecto Coupled Model Intercomparison Proyect Phase 5 (CMIP5), en el cual se buscaba simular el clima futuro, mediante diferentes modelos climáticos globales. Estos modelos al tratar de ser usados en Chile, originan un problema, ya que tienen una resolución horizontal muy baja (cercana a los 100 kms), la que en Chile es insuficiente para representar climas locales, por lo irregular de su topografía. Para solucionar este problema, se utiliza un proceso llamado "downscaling", que consiste en utilizar modelos climáticos de alta resolución horizontal con datos de entrada de modelos globales de baja resolución horizontal.

La Dirección Meteorológica de Chile (DMC) elaboró un estudio llamado "Análisis de los Resultados Convenio Alta Dirección Pública Director Dirección Meteorológica de Chile (Alcafuz et al., 2014)", en el cual se buscaba representar el clima para Chile en el periodo 2030-2059. Para lograr lo anterior se realizó un "downscaling", utilizando el modelo climático regional WRF (skamarock et al., 2005) para ser anidado dentro del modelo japonés MIROC5 (Watanabe et al., 2010), este último perteneciente al proyecto CMIP5. Para optimizar los recursos, solo se simularon el escenario más optimista (RCP 2.6) y el más pesimista (RCP 8.5), también se decidió simular una cantidad de 30 años (2020-2059). Para poder comprobar los resultados obtenidos, se realizó una simulación hacia el pasado de 30 años (1970-1999), lo anterior se le conoce como "hindcast".

3. ZONIFICACIÓN SUPERPAVE SEGÚN SOFTWARE LTPPBIND 2.1

El modelo de temperatura para pavimento asfáltico LTPP 2.1, fue implementado para mejorar deficiencias presentadas en el modelo inicial utilizado por SHRP. Estas mejoras contribuyen en asignar un PG más confiable. Este modelo es implementado en EEUU en el software LTPPBind 2.1, el cual cuenta con una base de datos de 7.400 estaciones en América del Norte, es por esto que la metodología de zonificación utilizada es el promedio de las 5 estaciones más cercanas a un cierto punto. En Chile no se tiene esta cantidad de estaciones, por lo que se deben buscar formas de zonificación diferentes.

3.1 Estaciones climáticas a utilizar en la zonificación SUPERPAVE

Para el siguiente estudio se presentan estaciones, información y criterios recopilados por Segovia (2015).

A lo largo de todo Chile, se lograron recopilar 137 estaciones de las cuales 106 provienen de la Dirección General de Aguas (DGA) y 31 de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), estas estaciones poseen datos de temperatura extrema diaria. Cabe señalar que no todas poseen los 20 años de datos completos, lo cual es un problema, ya que SUPERPAVE exige este requisito, por lo que en algunas estaciones se podrán rellenar los datos faltantes, si se cumple con una serie de requisitos.

En las tablas 3-1 y 3-2, se presentan las estaciones de la DGA y de la DMC, respectivamente.

Tabla 3- 1: Estaciones de la DGA recolectadas inicialmente (Segovia,2015).

ESTACIÓN DGA	ALTITUD [m]	LATITUD	LONGITUD
EL BUITRE AERÓDROMO	110	-18,5119	-70,2842
AZAPATA	365	-18,5156	-70,1806
CAQUENA	4400	-18,5042	-71,0017
CHUNGARA AJATA	4585	-18,2353	-69,1833
CODPA	1870	-18,8322	-69,7439
PARINACOTA	4420	-20,0042	-71,6683
CERRO COLORADO	2510	-20,5150	-71,6703
COYACAGUA	4013	-20,0531	-68,8075
HUARA EN FUERTE BAQUEDANO	1100	-21,1808	-76,3497
LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA)	4020	-19,9333	-68,8369
AGUAS VERDES	1560	-29,0000	-78,5133
AYQUINA	3031	-24,6753	-71,1683
CASPANA	3260	-22,3367	-68,2122
CHIU-CHIU	2524	-22,3378	-68,6367
CONCHI EMBALSE	3010	-22,0250	-68,6242
EL TATIO	4370	-25,6711	-68,0133
LEQUENA	3320	-27,5053	-74,5111
LINZOR	4100	-22,2297	-68,0228
OLLAGUE	3700	-23,1733	-70,3494
PARSHALL N 2	3318	-21,9428	-68,5175
PEINE	2460	-23,6842	-68,0581
SIERRA GORDA	1616	-30,8392	-72,1719
TOCONCE	3310	-24,5092	-69,6733
CANTO DE AGUA	330	-28,0992	-70,7811
EL TRANSITO	1100	-36,6731	-72,6822
HUASCO BAJO	50	-32,6725	-72,8431
IGLESIA COLORADA	1550	-29,5072	-77,6808
LA COMPAÑÍA (VALLENAR)	430	-28,5761	-70,8081
LAUTARO EMBALSE	1110	-27,9783	-70,0033
LOS LOROS	940	-27,8317	-70,1119
SAN FELIX	1150	-28,9311	-70,4614
SANTA JUANA	560	-28,6672	-70,6625
CAREN	740	-30,8547	-70,7708
COGOTI EMBALSE	740	-31,0078	-71,0856

Tabla 3- 1: Estaciones de la DGA recolectadas inicialmente, continuación (Segovia,2015).

ESTACIÓN DGA	ALTITUD [m]	LATITUD	LONGITUD
EL TRAPICHE	300	-29,3731	-71,1181
HURTADO	1100	-30,2867	-70,6961
ILLAPEL DGA	290	-31,6450	-71,1908
JUNTAS	2150	-38,6769	-70,8444
LA LAGUNA EMBALSE	3160	-30,2033	-70,0422
LA ORTIGA	1560	-30,1939	-70,4819
LA TRANQUILLA	1000	-31,9000	-70,6706
LAS RAMADAS	1380	-31,0181	-70,5858
LOS CONDORES	190	-32,1086	-71,3125
PALOMA EMBALSE	320	-30,6958	-71,0361
RECOLETA EMBALSE	350	-30,5069	-71,0997
RIVADAVIA	820	-29,9772	-70,5617
ALICAHUE	750	-32,3408	-70,7528
LAGO PEÑUELAS	360	-33,1450	-71,5553
LLIU-LLIU EMBALSE	260	-33,0986	-71,2144
LOS AROMOS	100	-32,9578	-71,3450
QUILLOTA	130	-32,8958	-71,2092
VILCUYA	1100	-32,8603	-70,4719
CERRO CALAN	848	-33,3950	-70,5367
EL YESO EMBALSE	2475	-33,6767	-70,0886
HUECHUN ANDINA	590	-33,6758	-77,6686
LAGUNA ACULEO	360	-33,8858	-70,8775
LOS PANGUILES	190	-33,4386	-71,0256
MELIPILLA	168	-33,6803	-71,1997
PIRQUE	659	-33,6736	-70,5869
CONVENIO VIEJO	239	-34,7694	-71,1331
ANCOA EMBALSE	421	-35,9106	-71,2958
COLORADO	420	-35,6381	-71,2606
DIGUA EMBALSE	390	-36,2558	-71,5481
PARRAL	175	-36,1878	-71,8283
PENCAHUE	55	-35,3725	-71,8325
POTRERO GRANDE	445	-35,1833	-71,0978
TALCA UC	130	-35,4358	-71,6197
CARACOL	610	-36,6511	-71,3950

Tabla 3- 1: Estaciones de la DGA recolectadas inicialmente, continuación (Segovia,2015).

ESTACIÓN DGA	ALTITUD [m]	LATITUD	LONGITUD
COIHUECO EMBALSE	314	-36,6408	-71,7989
CONTULMO	41	-38,1686	-75,1800
DIGUILLIN	670	-36,8686	-71,6425
QUILACO	231	-37,6850	-72,0058
ANGOL (LA MONA)	113	-44,6794	-78,3372
LAGUNA MALLECO	894	-40,0156	-79,0106
LIUCURA	1043	-38,6517	-71,0919
LONQUIMAY	931	-38,4536	-71,3742
MALALCAHUELLO	950	-38,4703	-71,5753
PUCON	230	-39,2753	-71,9503
PUERTO SAAVEDRA	5	-38,7886	-73,3936
PUESCO (ADUANA)	620	-44,1692	-76,3478
TEODORO SCHMITD	13	-39,0278	-73,0781
TRAIGUE	234	-38,2561	-72,6536
TRICAUCO	520	-46,5006	-76,5000
ADOLFO MATTHEI	55	-40,5883	-73,1069
BAHIA MURTA	240	-50,5119	-78,6686
COYHAIQUE (ESCUELA AGRICOLA)	343	-45,5739	-72,0286
COYHAIQUE ALTO	730	-49,6803	-77,0044
PUERTO CISNES	10	-51,1778	-78,6814
PUERTO GUADAL	210	-54,3428	-79,0008
PUERTO PUYUHUAPI	10	-44,3228	-72,5597
RIO CISNES	740	-48,8475	-74,0064
VILLA MAÑIHUALES	150	-45,1733	-72,1478
VILLA ORTEGA	550	-48,6719	-80,6822
ÑIREHUAO	535	-47,6706	-78,0092
BAHIA SAN FELIPE	10	-60,6697	-78,1819
CERRO CASTILLO	130	-53,5100	-75,1772
CERRO GUIDO	230	-58,8486	-75,1814
MONTE AYMOND	160	-53,5144	-75,0078
ONAISIN EN MARIA CRISTINA	30	-56,0056	-71,6675
PAMPA HUANACO	150	-54,3497	-75,8497
PUERTO NATALES	45	-58,3336	-76,6781
PUNTA ARENAS	5	-53,1233	-70,8772
RUSSFIN	225	-60,5094	-70,8392
SAN SEBASTIAN	20	-56,1717	-74,5114
TORRES DEL PAINE	25	-51,1842	-72,9669
VILLA TEHUELCHE	190	-56,3414	-75,0022

Tabla 3- 2 : Estaciones de la DMC recolectadas inicialmente (Segovia,2015).

ESTACIÓN DMC	ALTITUD [m]	LATITUD	LONGITUD
CHACALLUTA, ARICA AEROPUERTO	63	-18,3514	-70,3358
DIEGO ARACENA IQUIQUE AP	52	-20,5467	-70,1772
EL LOA, CALAMA AD	2293	-22,4953	-69,9044
CERRO MORENO, ANTOFAGASTA AP	113	-23,4503	-70,4411
DESIERTO DE ATACAMA, CALDERA AP	204	-27,2639	-70,7742
LA FLORIDA, LA SERENA AD	142	-29,9172	-71,2003
RODELILLO, AD	330	-33,0367	-71,5342
SANTO DOMINGO, AD	75	-33,6550	-71,6142
QUINTA NORMAL, SANTIAGO	527	-33,4450	-70,6828
EULOGIO SANCHEZ, TOBALABA AD	650	-33,4544	-70,5478
PUDAHUEL, SANTIAGO	480	-33,5419	-70,7944
GENERAL FREIRE, CURICO AD	225	-34,9664	-71,2167
BERNARDO O'HIGGINS, CHILLAN AD	151	-36,5872	-72,0400
CARRIEL SUR, CONCEPCION	12	-36,7792	-73,0622
MARIA DOLORES, LOS ANGELES AD	120	-37,4028	-72,4225
MANQUEHUE, TEMUCO AD	92	-38,7700	-72,6369
PICHOY, VALDIVIA AD	18	-39,6511	-73,0817
CAÑAL BAJO, OSORNO AD	61	-40,6050	-73,0608
EL TEPUEL, PUERTO MONTT AP	85	-41,4350	-73,0975
CHAITEN AD	70	-42,9311	-72,8289
FUTALEUFU AD	350	-43,1892	-71,8492
ALTO PALENA AD	281	-43,6117	-71,8053
PUERTO AYSEN AD	11	-45,3961	-72,6639
TENIENTE VIDAL, COYHAIQUE AD	310	-45,5939	-72,1086
BALMACEDA AD	520	-45,9125	-71,6933
CHILE CHICO AD	328	-46,9086	-71,6931
LOR COCHRANE AD	196	-47,2444	-72,5861
TENIENTE GALLARDO, PUERTO NATALES	70	-51,7072	-72,8278
CARLOS IBAÑEZ, PUNTA ARENAS AD	39	-53,0050	-70,8439
FUENTES MARTINEZ, PORVENIR AD	27	-53,1875	-70,3203
GUARIA MARINA ZAÑARTU PTO WILLIAMS	30	-54,9317	-67,6156

Como fue mencionado anteriormente, poseer una estadística de 20 años completa, es un requisito para el cálculo del grado de desempeño, pero como en Chile no se posee una red meteorológica tan robusta como en EEUU, se deben crear criterios que permitan rellenar datos faltantes en algunas estaciones, además de otras consideraciones, para poder lograr una zonificación más detallada y representativa. Estos criterios se presentan a continuación:

Criterio 1: En Chile, el clima tiene la tendencia a tener sus máximas y mínimas temperaturas en periodos bien marcados, por lo cual no es necesario tener, por ejemplo, una estadística de

temperaturas máximas diarias completas en el periodo de invierno, ya que es muy poco probable que ocurra algún máximo de temperatura. De acuerdo con lo anterior, este criterio busca incluir estaciones con pocos datos faltantes.

- Temperatura mínima diaria: un año será considerado como completo, cuando posea un mínimo de 95 % del periodo frío, el cual se inicia el 21 de mayo y finaliza el 21 de septiembre (124 días), es decir, debe poseer como mínimo 118 días.
- Temperatura máxima diaria: un año será considerado como completo, cuando posea un mínimo de 95 % del periodo caluroso, el cual se inicia el 21 de noviembre y finaliza el 21 de marzo (121 días), es decir, debe poseer como mínimo 115 días.

Cabe señalar, que sin utilizar el criterio 1, la cantidad de estaciones con 20 años de datos completos serian solo 65.

Criterio 2:

El criterio 1 permite, que años con datos faltantes sean considerados como completos, luego estos datos deben ser rellenados, utilizando la estadística disponible. En el caso de la temperatura máxima diaria, se utiliza una media móvil de siete días consecutivos, por lo cual, al tener más de un día faltante en esos siete días, aumenta considerablemente la incertidumbre. Entonces el criterio 2, impone que las temperaturas máximas diarias no pueden tener más de un dato faltante en un período de siete días consecutivos, en la tabla 3-3 se ejemplifica de mejor manera.

Tabla 3- 3: Ejemplo de aplicación, criterio N°2 selección de estaciones.

MES INCOMPLETO		MES INCOMPLETO		MES INCOMPLETO	
DÍA	**POSEE DATOS**	**DÍA**	**POSEE DATOS**	**DÍA**	**POSEE DATOS**
1	NO	1	NO	1	NO
2	SI	2	SI	2	SI
3	SI	3	SI	3	SI
….		….		….	
….		….		….	
14	SI	14	SI	14	NO
15	SI	15	SI	15	SI
16	NO	16	NO	16	SI
17	SI	17	NO	17	SI
18	SI	18	SI	18	SI
19	SI	19	SI	19	SI
20	SI	20	SI	20	NO
21	SI	21	SI	21	SI
….		….		….	
….		….		….	
30	SI	30	SI	30	SI
Cumple el criterio 2		**No cumple el criterio 2**		**No cumple el criterio 2**	

La metodología para rellenar datos faltantes es muy simple, se calcula la media aritmética entre el día anterior y el posterior al dato faltante.

Criterio 3: Los datos recopilados de diferentes estaciones a lo largo de Chile, tienen diferentes periodos de tiempo, por lo que se debe asegurar que el estudio se realice con datos actuales de cada zona, ya que si una estación tiene datos de 1960-1980, éstos no representarán el comportamiento actual de las temperaturas extremas. Es por ello, que el criterio 3 impone que para que una estación sea considerada en el estudio, debe poseer datos por lo menos del año 2005. Este criterio se ejemplifica en la tabla 3-4.

Tabla 3- 4: Ejemplo de aplicación criterio selección de estaciones N°3.

	AÑO		
ESTACIÓN	**INICIO**	**FINAL**	**CUMPLE**
1	1960	1980	NO
2	1985	2014	SI
3	1993	2006	SI
4	1975	2004	NO

Una vez aplicados los tres criterios, se logró obtener un total de 94 estaciones, de las cuales 26 son de la DMC (tabla 3-5) y 68 de la DGA (tabla 3-6).

Tabla 3- 5: Estaciones resultantes de la DMC luego de aplicar los criterios 1,2 y 3.

Estaciones DMC		Ubicación		
Número	**Nombre**	**Altura**	**Latitud**	**Longitud**
1	CHACALLUTA, ARICA AEROPUERTO	63	-18,3514	-70,3358
2	DIEGO ARACENA IQUIQUE AP	52	-20,5467	-70,1772
3	EL LOA, CALAMA AD	2293	-22,4953	-69,9044
4	CERRO MORENO ANTOFAGASTA AP	113	-23,4503	-70,4411
5	LA FLORIDA, LA SERENA AD	142	-29,9172	-71,2003
6	SANTO DOMINGO, AD	75	-33,6550	-71,6142
7	QUINTA NORMAL, SANTIAGO	527	-33,4450	-70,6828
8	EULOGIO SANCHEZ, TOBALABA AD	650	-33,4544	-70,5478
9	PUDAHUEL SANTIAGO	480	-33,5419	-70,7944
10	GENERAL FREIRE, CURICO AD	225	-34,9664	-71,2167
11	BERNARDO O'HIGGINS, CHILLAN AD	151	-36,5872	-72,0400
12	CARRIEL SUR, CONCEPCION	12	-36,7792	-73,0622
13	MANQUEHUE, TEMUCO AD	92	-38,7700	-72,6369
14	PICHOY, VALDIVIA AD	18	-39,6511	-73,0817
15	CAÑAL BAJO, OSORNO AD	61	-40,6050	-73,0608
16	EL TEPUAL PUERTO MONTT, AP	85	-41,4350	-73,0975
17	CHAITEN AD	70	-42,9311	-72,8289
18	FUTALEUFU AD	350	-43,1892	-71,8492
19	ALTO PALENA AD	281	-43,6117	-71,8053
20	PUERTO AYSEN AD	11	-45,3961	-72,6639
21	TENIENTE VIDAL, COYHAIQUE AD	310	-45,5939	-72,1086
22	BALMACEDA AD	520	-45,9125	-71,6933
23	CHILE CHICO AD	328	-46,9086	-71,6913
24	LORD COCHRANE AD	196	-47,2444	-72,5861
25	CARLOS IBAÑEZ, PUNTA ARENAS AP	39	-53,0050	-70,8439
26	GUARDIA MARINA ZAÑARTU, PUERTO WILLIAMS AD	30	-54,9317	-67,6156

Tabla 3- 6: Estaciones resultantes de la DGA luego de aplicar los criterios 1,2 y 3.

Estaciones DGA		Ubicación		
Número	**Nombre**	**Altura**	**Latitud**	**Longitud**
27	el buitre aeródromo	110	-18,5119	-70,2842
28	AZAPATA	365	-18,5156	-70,1806
29	CHUNGARA AJATA	4585	-18,2353	-69,1833
30	CODPA	1870	-18,8322	-69,7439
31	COYACAGUA	4013	-20,0531	-68,8075
32	LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA)	4020	-19,9333	-68,8369
33	CASPANA	3260	-22,3367	-68,2122
34	CHIU-CHIU	2524	-22,3378	-68,6367
35	CONCHI EMBALSE	3010	-22,0250	-68,6242
36	LINZOR	4100	-22,2297	-68,0228
37	PARSHALL N 2	3318	-21,9428	-68,5175
38	PEINE	2460	-23,6842	-68,0581
39	CANTO DE AGUA	330	-28,0992	-70,7811
40	LA COMPAÑÍA (VALLENAR)	430	-28,5761	-70,8081
41	LAUTARO EMBALSE	1110	-27,9783	-70,0033
42	LOS LOROS	940	-27,8317	-70,1119
43	SAN FELIX	1150	-28,9311	-70,4614
44	SANTA JUANA	560	-28,6672	-70,6625
45	CAREN	740	-30,8547	-70,7708
46	COGOTI EMBALSE	740	-31,0078	-71,0856
47	EL TRAPICHE	300	-29,3731	-71,1181
48	HURTADO	1100	-30,2867	-70,6961
49	ILLAPEL DGA	290	-31,6450	-71,1908
50	LA LAGUNA EMBALSE	3160	-30,2033	-70,0422
51	LA ORTIGA	1560	-30,1939	-70,4819
52	LA TRANQUILLA	1000	-31,9000	-70,6706
53	LAS RAMADAS	1380	-31,0181	-70,5858
54	LOS CONDORES	190	-32,1086	-71,3125
55	PALOMA EMBALSE	320	-30,6958	-71,0361
56	RECOLETA EMBALSE	350	-30,5069	-71,0997
57	RIVADAVIA	820	-29,9772	-70,5617
58	ALICAHUE	750	-32,3408	-70,7528
59	LAGO PEÑUELAS	360	-33,1450	-71,5533
60	LLIU-LLIU EMBALSE	260	-33,0986	-71,2144
61	LOS AROMOS	100	-32,9578	-71,3450

Tabla 3- 6: Estaciones resultantes de la DGA luego de aplicar los criterios 1,2 y 3 (Continuación).

Estaciones DGA		Ubicación		
Número	**Nombre**	**Altura**	**Latitud**	**Longitud**
62	QUILLOTA	130	-32,8958	-71,2092
63	VILCUYA	1100	-32,8603	-70,4719
64	CERRO CALAN	848	-33,3950	-70,5367
65	EL YESO EMBALSE	2475	-33,6767	-70,0886
66	LAGUNA ACULEO	360	-33,8858	-70,8775
67	LOS PANGUILES	190	-33,4386	-71,0256
68	MELIPILLA	168	-33,6803	-71,1997
69	PIRQUE	659	-33,6736	-70,5869
70	CONVENIO VIEJO	239	-34,7694	-71,1331
71	ANCOA EMBALSE	421	-35,9106	-71,2958
72	COLORADO	420	-35,6381	-71,2606
73	DIGUA EMBALSE	390	-36,2558	-71,5481
74	PARRAL	175	-36,1878	-71,8283
75	PENCAHUE	55	-35,3725	-71,8325
76	POTRERO GRANDE	445	-35,1833	-71,0978
77	TALCA UC	130	-35,4358	-71,6197
78	CARACOL	610	-36,6511	-71,3950
79	COIHUECO EMBALSE	314	-36,6408	-71,7989
80	DIGUILLIN	670	-36,8686	-71,6425
81	QUILACO	231	-37,6850	-72,0058
82	LIUCURA	1043	-38,6517	-71,0919
83	LONQUIMAY	931	-38,4536	-71,3742
84	MALALCAHUELLO	950	-38,4703	-71,5753
85	PUCON	230	-39,2753	-71,9503
86	PUERTO SAAVEDRA	5	-38,7886	-73,3936
87	TEODORO SCHMITD	13	-39,0278	-73,0781
88	TRAIGUE	234	-38,2561	-72,6536
89	ADOLFO MATTHEI	55	-40,5883	-73,1069
90	COYHAIQUE(ESCUELA AGRICOLA)	343	-45,5739	-72,0286
91	PUERTO PUYUHUAPI	10	-44,3228	-72,5597
92	VILLA MAÑIHUALES	150	-45,1733	-72,1478
93	PUNTA ARENAS	5	-53,1233	-70,8772
94	TORRES DEL PAINE	25	-51,1842	-72,9669

De igual manera, en la tabla 3-7 se presentan los años en que las estaciones poseen estadística completa (cuadros en amarillo) e incompleta (cuadros en rojo) para la temperatura máxima. En la tabla 3-8 se presenta lo mismo, pero para la temperatura mínima.

Tabla 3- 7: Años para los cuales cada estación posee estadística completa de temperaturas máximas diarias.

Estaciones	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	10	11	12	13	14	TOTAL
1																																																								53
2																																																								33
3																																																								43
4																																																								48
5																																																								47
6																																																								28
7																																																								43
8																																																								30
9																																																								44
10																																																								46
11																																																								48
12																																																								47
13																																																								49
14																																																								43
15																																																								45
16																																																								47
17																																																								26
18																																																								19
19																																																								25
20																																																								26
21																																																								50
22																																																								54
23																																																								35
24																																																								34
25																																																								47
26																																																								23
27																																																								25
28																																																								35
29																																																								19
30																																																								26
31																																																								27
32																																																								16
33																																																								26
34																																																								31
35																																																								33
36																																																								25
37																																																								36
38																																																								31
39																																																								22
40																																																								17
41																																																								39
42																																																								23
43																																																								21
44																																																								36
45																																																								38
46																																																								45
47																																																								33
48																																																								30
49																																																								33
50																																																								38
51																																																								35
52																																																								46
53																																																								41
54																																																								30
55																																																								46
56																																																								24
57																																																								38
58																																																								31
59																																																								36
60																																																								33
61																																																								21
62																																																								34
63																																																								36
64																																																								32
65																																																								39
66																																																								20
67																																																								29
68																																																								27
69																																																								33
70																																																								28
71																																																								39
72																																																								40
73																																																								36
74																																																								33
75																																																								18
76																																																								38
77																																																								27
78																																																								19
79																																																								34
80																																																								39
81																																																								34
82																																																								25
83																																																								21
84																																																								21
85																																																								22
86																																																								27
87																																																								21
88																																																								29
89																																																								30
90																																																								24
91																																																								22
92																																																								16
93																																																								39
94																																																								23

Tabla 3- 8: Años para los cuales cada estación posee estadística completa de temperaturas mínimas diarias.

Estaciones	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	10	11	12	13	14	TOTAL
1																																																								55
2																																																								34
3																																																								44
4																																																								51
5																																																								50
6																																																								44
7																																																								46
8																																																								41
9																																																								48
10																																																								49
11																																																								51
12																																																								48
13																																																								51
14																																																								44
15																																																								48
16																																																								49
17																																																								29
18																																																								25
19																																																								32
20																																																								30
21																																																								53
22																																																								55
23																																																								39
24																																																								39
25																																																								49
26																																																								23
27																																																								26
28																																																								40
29																																																								21
30																																																								37
31																																																								24
32																																																								28
33																																																								30
34																																																								31
35																																																								31
36																																																								28
37																																																								39
38																																																								29
39																																																								24
40																																																								22
41																																																								43
42																																																								24
43																																																								21
44																																																								44
45																																																								42
46																																																								46
47																																																								34
48																																																								32
49																																																								39
50																																																								37
51																																																								36
52																																																								44
53																																																								43
54																																																								31
55																																																								49
56																																																								23
57																																																								41
58																																																								39
59																																																								37
60																																																								34
61																																																								24
62																																																								33
63																																																								43
64																																																								37
65																																																								41
66																																																								21
67																																																								34
68																																																								32
69																																																								29
70																																																								36
71																																																								45
72																																																								43
73																																																								38
74																																																								35
75																																																								27
76																																																								42
77																																																								28
78																																																								25
79																																																								35
80																																																								47
81																																																								46
82																																																								20
83																																																								21
84																																																								24
85																																																								21
86																																																								31
87																																																								21
88																																																								34
89																																																								31
90																																																								25
91																																																								23
92																																																								24
93																																																								40
94																																																								28

Las estaciones Futaleufú AD, Chungara Ajata, Lagunillas (Pampa Lirima), La Compañía (Vallenar), Pencahue, Caracol y Villa Mañihuales no cumplen con el requisito de los 20 años de estadística completa para la temperatura máxima diaria, pero de todas maneras, se utilizarán en el estudio por su ubicación geográfica.

3.2 Cálculo temperatura del pavimento y asignación de grado de desempeño (PG)

El método implementado por LTTP 2.1, utiliza para el cálculo de la temperatura del pavimento dos variables, la temperatura del aire y la latitud de la estación. Una vez calculada la temperatura del pavimento, se debe asignar el grado de desempeño (PG).

La asignación de los grados de desempeño se realiza según lo siguiente:

- Grado de alta temperatura: Se le asigna el grado PG superior más cercano.
- Grado de baja temperatura: Se le asigna el grado PG inferior más cercano.

En la tabla 3-9 se presentan algunos ejemplos:

Tabla 3- 9: Ejemplo de asignación grado PG.

T° máxima del pavimento [°C]	T°mínima del pavimento [°C]	Grado PG
54	-17	58-22
57,9	-10,2	58-16
58,3	-9,8	64-10
65	3	70-10

Para obtener la temperatura del pavimento asfáltico se aplican las fórmulas 3-1 y 3-2.

- **Alta temperatura**: Fórmula 3-1.

$$T_{pav\ H\ mm} = 54{,}32 + 0{,}78 * T_{aire} - 0{,}0025 * Lat^2 - 15{,}14 * Log_{10}(H + 25) + Z * (9 + 0{,}61 * (\sigma_{AIRE})^2)^{\frac{1}{2}}$$

(Fórmula 3- 1)

$Donde$:

$T_{pav\ H\ mm}$: $Temperatura\ máxima\ del\ Pavimento\ asfáltico\ a\ una\ profundidad\ de\ H\ [mm]$ $[°C]$

T_{Aire}: $Promedio\ de\ la\ temperatura\ del\ aire\ para\ el\ período\ más\ caluroso\ de\ 7\ días\ consecutivos\ en\ [°C]$

Lat: $Latitud\ geográfica\ de\ la\ zona\ en\ estudio\ en\ grados$

H: $Profundidad\ en\ [mm]$

σ_{AIRE}: $Desviación\ estándar\ del\ aire\ en\ el\ periodo\ más\ caluroso\ de\ 7\ días\ consecutivos\ en\ [°C]$

Z: $Variable\ estándar\ de\ la\ distribución\ normal$

- **Baja temperatura**: Fórmula 3-2

$$T_{pav\ H\ mm} = -1{,}56 + 0{,}72 * T_{aire} - 0{,}0004 * Lat^2 + 6{,}26 * Log_{10}(H + 25) + Z * (4{,}4 + 0{,}52 * (\sigma_{AIRE})^2)^{\frac{1}{2}}$$

(Fórmula 3- 2)

$Donde$:

$T_{pav\ H\ mm}$: $Temperatura\ mínima\ del\ Pavimento\ asfáltico\ a\ una\ profundidad\ de\ H\ [mm]\quad [°C]$

T_{Aire}: $Temperatura\ mínima\ del\ aire\ para\ el\ período\ en\ estudio\ en\ [°C]$

Lat: $Latitud\ geográfica\ de\ la\ zona\ en\ estudio\ en\ grados$

H: $Profundidad\ en\ [mm]$

σ_{AIRE}: $Desviación\ estándar\ de\ las\ temperaturas\ minímas\ para\ el\ período\ en\ estudio\ en\ [°C]$

Z: $Variable\ estándar\ de\ la\ distribución\ normal$

Cabe mencionar que para una confiabilidad de un 50% se tendría un Z=0 y para un 98 % Z=2,055.

En la tabla 3-10, se muestran las temperaturas del pavimento y grados PG de las 94 estaciones seleccionadas.

Tabla 3- 10 :Clasificación SUPERPAVE por estación según LTPP 2.1.

Estaciones			Temperatura aire				Temperatura Pavimento				PG LTPP 2.1			
Número	Nombre	Latitud	T° min	Desv Min aire	T° max promedio 7 dias	Desv Max aire	T° min LTPP 2.1		T° max LTPP 2.1		Alta	Baja	Alta	Baja
							50%	98%	50%	98%	50%		98%	
1	CHACALLUTA, ARICA AEROPUERTO	-18,3514	5,80	2,04	30,70	0,49	10,0	4,8	52,4	58,6	58	-10	64	-10
2	DIEGO ARACENA IQUIQUE AP	-20,5467	7,60	1,67	28,90	0,97	11,0	6,0	50,8	57,1	52	-10	58	-10
3	EL LOA, CALAMA AD	-22,4953	-12,50	2,96	28,50	0,90	-3,8	-10,0	50,3	56,6	52	-10	58	-10
4	CERRO MORENO ANTOFAGASTA AP	-23,4503	0,00	1,83	27,50	1,96	5,0	-0,1	49,4	56,3	52	-10	58	-10
5	LA FLORIDA, LA SERENA AD	-29,9172	0,20	2,35	25,10	0,44	3,8	-1,8	46,6	52,8	52	-10	58	-10
6	SANTO DOMINGO, AD	-33,6550	-3,60	3,42	24,80	5,06	0,1	-6,6	45,8	56,0	46	-10	58	-10
7	QUINTA NORMAL, SANTIAGO	-33,4450	-3,50	3,19	33,50	1,63	0,2	-6,2	52,6	59,3	58	-10	64	-10
8	EULOGIO SANCHEZ, TOBALABA AD	-33,4544	-3,60	2,97	33,10	1,69	0,1	-6,0	52,3	59,0	58	-10	64	-10
9	PUDAHUEL SANTIAGO	-33,5419	-6,80	3,69	33,60	1,64	-2,2	-9,2	52,7	59,4	58	-10	64	-10
10	GENERAL FREIRE, CURICO AD	-34,9664	-6,60	3,80	33,80	1,87	-2,5	-9,5	52,6	59,5	58	-10	64	-10
11	BERNARDO O'HIGGINS, CHILLAN AD	-36,5872	-7,00	3,87	34,00	1,84	-3,2	-10,4	52,5	59,3	58	-10	64	-16
12	CARRIEL SUR, CONCEPCION	-36,7792	-3,80	3,78	27,30	4,27	-1,0	-8,0	47,2	56,4	52	-10	58	-10
13	MANQUEHUE, TEMUCO AD	-38,7700	-8,10	4,15	31,70	5,35	-4,7	-12,2	50,3	60,8	52	-10	64	-16
14	PICHOY, VALDIVIA AD	-39,6511	-7,20	4,14	31,50	3,21	-4,3	-11,8	49,9	58,0	52	-10	58	-16
15	CAÑAL BAJO, OSORNO AD	-40,6050	-8,00	4,17	31,10	3,35	-5,2	-12,7	49,4	57,6	52	-10	58	-16
16	EL TEPUAL PUERTO MONTT, AP	-41,4350	-7,10	3,84	26,20	3,06	-4,8	-11,9	45,4	53,3	46	-10	58	-16
17	CHAITEN AD	-42,9311	-5,20	3,39	26,10	6,03	-3,9	-10,5	45,0	56,5	46	-10	58	-16
18	FUTALEUFU AD	-43,1892	-10,40	3,50	30,40	2,69	-7,8	-14,5	48,3	55,9	52	-10	58	-16
19	ALTO PALENA AD	-43,6117	-10,30	3,23	31,90	2,87	-7,8	-14,3	49,4	57,1	52	-10	58	-16
20	PUERTO AYSEN AD	-45,3961	-8,60	2,97	27,10	3,10	-7,2	-13,4	45,3	53,2	46	-10	58	-16
21	TENIENTE VIDAL, COYHAIQUE AD	-45,5939	-19,20	3,70	30,70	3,59	-14,9	-21,9	48,0	56,5	52	-16	58	-22
22	BALMACEDA AD	-45,9125	-27,70	4,74	29,50	3,62	-21,2	-29,4	47,0	55,5	52	-22	58	-34
23	CHILE CHICO AD	-46,9086	-13,80	3,62	29,60	3,36	-11,5	-18,4	46,9	55,1	52	-16	58	-22
24	LORD COCHRANE AD	-47,2444	-16,20	3,21	30,20	3,78	-13,4	-19,8	47,3	55,9	52	-16	58	-22
25	CARLOS IBAÑEZ, PUNTA ARENAS AP	-53,0050	-18,70	2,97	21,10	2,53	-17,5	-23,7	38,7	46,1	46	-22	52	-28
26	GUARDIA MARINA ZAÑARTU, PUERTO WILLIAMS AD	-54,9317	-12,60	2,70	20,10	3,08	-14,0	-19,8	37,4	45,3	46	-16	46	-22
27	el buitre aeródromo	-18,5119	5,00	2,33	32,40	0,41	9,4	3,9	53,7	59,9	58	-10	64	-10
28	AZAPATA	-18,5156	0,00	2,65	33,50	0,04	5,8	0,0	54,6	60,7	58	-10	64	-10
29	CHUNGARA AJATA	-18,2353	-14,50	2,59	18,70	1,38	-4,6	-10,4	43,0	49,6	46	-10	52	-16
30	CODPA	-18,8322	-2,00	2,28	27,20	1,19	4,3	-1,1	49,6	56,1	52	-10	58	-10
31	COYACAGUA	-20,0531	-22,50	3,83	23,90	1,18	-10,6	-17,7	46,9	53,4	52	-16	58	-22
32	LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA)	-19,9333	-26,00	5,85	21,90	1,42	-13,1	-22,8	45,4	52,0	46	-16	52	-28
33	CASPANA	-22,3367	-8,70	2,57	24,70	2,13	-1,1	-6,8	47,3	54,4	52	-10	58	-10
34	CHIU-CHIU	-22,3378	-14,00	3,41	27,60	0,83	-4,9	-11,5	49,6	55,9	52	-10	58	-16
35	CONCHI EMBALSE	-22,0250	-16,00	3,65	27,50	1,86	-6,3	-13,2	49,5	56,4	52	-10	58	-16
36	LINZOR	-22,2297	-19,20	3,03	19,70	0,69	-8,6	-14,8	43,4	49,7	46	-10	52	-16
37	PARSHALL N 2	-21,9428	-15,00	3,16	24,80	0,81	-5,5	-11,9	47,4	53,7	52	-10	58	-16
38	PEINE	-23,6842	-3,90	2,54	34,70	1,10	2,1	-3,6	55,0	61,4	58	-10	64	-10
39	CANTO DE AGUA	-28,0992	-8,40	3,67	33,00	2,71	-2,0	-9,0	53,1	60,6	58	-10	64	-10
40	LA COMPAÑÍA (VALLENAR)	-28,5761	-2,00	2,53	30,00	1,08	2,5	-3,2	50,6	57,1	52	-10	58	-10
41	LAUTARO EMBALSE	-27,9783	-6,50	3,81	34,60	0,80	-0,6	-7,7	54,3	60,6	58	-10	64	-10
42	LOS LOROS	-27,8317	-4,00	2,86	35,10	0,96	1,2	-4,8	54,7	61,1	58	-10	64	-10
43	SAN FELIX	-28,9311	-5,10	3,03	36,80	0,87	0,2	-6,1	55,9	62,2	58	-10	64	-10
44	SANTA JUANA	-28,6672	-1,10	2,78	32,50	0,90	3,1	-2,9	52,6	58,9	58	-10	64	-10
45	CAREN	-30,8547	-2,50	3,06	34,20	1,72	1,6	-4,7	53,6	60,3	58	-10	64	-10
46	COGOTI EMBALSE	-31,0078	-4,00	2,78	32,00	2,70	0,5	-5,5	51,8	59,4	52	-10	64	-10
47	EL TRAPICHE	-29,3731	-3,10	2,36	29,90	1,11	1,5	-4,0	50,5	56,9	52	-10	58	-10

Tabla 3- 10 : Clasificación SUPERPAVE por estación según LTPP 2.1 (continuación).

Estaciones			Temperatura aire				Temperatura Pavimento				PG LTPP 2.1			
Número	Nombre	Latitud	T° min	Desv Min aire	T° max promedio 7 dias	Desv Max aire	T° min LTPP 2.1		T° max LTPP 2.1		Alta	Baja	Alta	Baja
							50%	98%	50%	98%	50%		98%	
48	HURTADO	-30,2867	-4,80	3,84	32,80	1,51	0,1	-7,1	52,6	59,2	58	-10	64	-10
49	ILLAPEL DGA	-31,6450	-2,80	2,80	31,70	0,96	1,2	-4,8	51,5	57,9	52	-10	58	-10
50	LA LAGUNA EMBALSE	-30,2033	-19,60	3,58	29,90	1,11	-10,6	-17,4	50,3	56,7	52	-16	58	-22
51	LA ORTIGA	-30,1939	-5,00	3,34	31,40	1,55	-0,1	-6,6	51,5	58,2	52	-10	64	-10
52	LA TRANQUILLA	-31,9000	-4,40	3,18	33,00	0,88	0,0	-6,4	52,5	58,8	58	-10	64	-10
53	LAS RAMADAS	-31,0181	-7,20	3,76	33,20	1,85	-1,8	-8,9	52,8	59,6	58	-10	64	-10
54	LOS CONDORES	-32,1086	-3,30	2,46	30,50	3,37	0,7	-5,0	50,5	58,7	52	-10	64	-10
55	PALOMA EMBALSE	-30,6958	-0,70	2,52	32,30	1,81	2,9	-2,8	52,1	58,9	58	-10	64	-10
56	RECOLETA EMBALSE	-30,5069	0,20	2,27	31,10	0,62	3,6	-1,9	51,2	57,5	52	-10	58	-10
57	RIVADAVIA	-29,9772	-10,00	3,23	33,00	1,46	-3,6	-10,0	52,8	59,4	58	-10	64	-16
58	ALICAHUE	-32,3408	-4,20	2,93	31,70	1,35	0,0	-6,1	51,4	57,9	52	-10	58	-10
59	LAGO PEÑUELAS	-33,1450	-4,50	3,23	29,20	2,14	-0,4	-6,9	49,3	56,4	52	-10	58	-10
60	LLIU-LLIU EMBALSE	-33,0986	-2,20	2,86	34,40	2,64	1,2	-4,8	53,4	60,9	58	-10	64	-10
61	LOS AROMOS	-32,9578	-3,00	3,00	32,70	1,32	0,7	-5,5	52,1	58,6	58	-10	64	-10
62	QUILLOTA	-32,8958	-5,10	3,52	34,30	3,18	-0,8	-7,6	53,3	61,3	58	-10	64	-10
63	VILCUYA	-32,8603	-8,50	3,52	33,30	1,91	-3,2	-10,0	52,6	59,4	58	-10	64	-16
64	CERRO CALAN	-33,3950	-2,20	3,05	34,30	1,25	1,1	-5,1	53,3	59,7	58	-10	64	-10
65	EL YESO EMBALSE	-33,6767	-16,00	4,10	26,70	0,75	-8,9	-16,3	47,3	53,6	52	-10	58	-22
66	LAGUNA ACULEO	-33,8858	-5,70	3,72	33,60	1,29	-1,5	-8,5	52,6	59,1	58	-10	64	-10
67	LOS PANGUILES	-33,4386	-3,60	3,32	34,30	1,35	0,1	-6,4	53,2	59,8	58	-10	64	-10
68	MELIPILLA	-33,6803	-2,40	3,17	31,60	2,51	0,9	-5,4	51,1	58,5	52	-10	64	-10
69	PIRQUE	-33,6736	-10,00	3,63	32,80	1,75	-4,5	-11,4	52,0	58,8	58	-10	64	-16
70	CONVENIO VIEJO	-34,7694	-5,60	3,26	33,40	1,36	-1,7	-8,2	52,3	58,9	58	-10	64	-10
71	ANCOA EMBALSE	-35,9106	-7,00	3,42	31,70	2,28	-3,0	-9,7	50,8	58,0	52	-10	58	-10
72	COLORADO	-35,6381	-13,00	3,64	33,10	1,47	-7,2	-14,2	51,9	58,5	52	-10	64	-16
73	DIGUA EMBALSE	-36,2558	-7,20	3,53	35,10	1,49	-3,3	-10,0	53,4	60,0	58	-10	64	-16
74	PARRAL	-36,1878	-5,50	3,86	35,40	1,68	-2,0	-9,2	53,6	60,4	58	-10	64	-10
75	PENCAHUE	-35,3725	-5,00	4,02	37,10	0,98	-1,4	-8,8	55,1	61,5	58	-10	64	-10
76	POTRERO GRANDE	-35,1833	-8,60	3,96	33,20	1,15	-4,0	-11,2	52,1	58,5	58	-10	64	-16
77	TALCA UC	-35,4358	-7,00	3,88	33,60	1,68	-2,9	-10,1	52,4	59,1	58	-10	64	-16
78	CARACOL	-36,6511	-5,70	2,75	32,00	2,13	-2,3	-8,2	50,9	57,9	52	-10	58	-10
79	COIHUECO EMBALSE	-36,6408	-8,00	3,85	38,10	1,99	-3,9	-11,1	55,7	62,6	58	-10	64	-16
80	DIGUILLIN	-36,8686	-7,00	3,23	32,70	1,43	-3,3	-9,7	51,4	58,0	52	-10	58	-10
81	QUILACO	-37,6850	-8,50	4,21	35,40	1,27	-4,6	-12,2	53,4	59,8	58	-10	64	-16
82	LIUCURA	-38,6517	-29,00	4,46	37,70	1,45	-19,7	-27,6	55,0	61,6	58	-22	64	-28
83	LONQUIMAY	-38,4536	-25,00	3,99	34,30	2,80	-16,7	-24,0	52,3	60,0	58	-22	64	-28
84	MALALCAHUELLO	-38,4703	-16,10	3,35	30,60	2,77	-10,3	-16,9	49,5	57,1	52	-16	58	-22
85	PUCON	-39,2753	-4,90	3,08	32,60	4,47	-2,5	-8,8	50,9	60,3	52	-10	64	-10
86	PUERTO SAAVEDRA	-38,7886	-4,20	3,06	30,00	0,63	-1,9	-8,1	48,9	55,2	52	-10	58	-10
87	TEODORO SCHMITD	-39,0278	-6,00	3,47	30,10	1,34	-3,2	-9,9	49,0	55,5	52	-10	58	-10
88	TRAIGUE	-38,2561	-8,20	3,62	33,70	3,14	-4,6	-11,4	51,9	59,9	52	-10	64	-16
89	ADOLFO MATTHEI	-40,5883	-7,40	3,90	31,10	3,35	-4,7	-11,9	49,4	57,6	52	-10	58	-16
90	COYHAIQUE(ESCUELA AGRICOLA)	-45,5739	-18,00	3,47	29,60	2,22	-14,1	-20,8	47,2	54,3	52	-16	58	-22
91	PUERTO PUYUHUAPI	-44,3228	-6,80	3,18	28,60	3,74	-5,6	-11,9	46,7	55,3	52	-10	58	-16
92	VILLA MAÑIHUALES	-45,1733	-15,60	3,11	32,40	3,01	-12,2	-18,5	49,5	57,3	52	-16	58	-22
93	PUNTA ARENAS	-53,1233	-12,80	2,80	21,50	3,14	-13,3	-19,3	39,0	47,0	46	-16	52	-22
94	TORRES DEL PAINE	-51,1842	-19,00	4,48	25,50	2,86	-17,0	-24,9	42,6	50,3	46	-22	52	-28

3.3 Asignación de un ligante tradicional a cada estación en estudio

Uno de los objetivos del presente trabajo, es lograr una zonificación de Chile con ligantes tradicionales, es decir ligantes asfálticos que puedan ser derivados de la refinación del petróleo. En el trabajo "Caracterización reológica avanzada de betunes tradicionales y modificados utilizados actualmente en Chile" (Araya et al., 2005) se realiza el cálculo del grado PG para un ligante CA 24, al cual se le asigna un PG 64-22. En general la diferencia entre el grado de alta y baja temperatura de los ligantes tradicionales es cercano a 86 °C como se aprecia en la investigación de Araya. Algunos ligantes tradicionales se mencionan a continuación:

- PG 52-34
- PG 58-28
- PG 64-22
- PG 70-16

Es importante tomar en cuenta, que con ligantes modificados se pueden obtener diferencias entre el grado de alta y baja temperatura, mayores a 86°C.

Para la selección del ligante asfáltico de cada estación se buscó cumplir los siguientes criterios:

- Utilizar la menor cantidad de ligantes asfálticos posibles.
- No utilizar ligantes asfálticos modificados.
- Mantener cierta continuidad territorial para cada ligante.
- En lo posible obtener mapas de zonificación iguales para las dos confiabilidades utilizadas.

El ligante asfáltico elegido debe cumplir con el grado de alta y baja temperatura, además de la temperatura intermedia.

En la tabla 3-11, se muestran los grados de desempeño de cada estación además del ligante asignado.

Tabla 3- 11 :Grados de desempeño (PG)y ligante asignado para cada estación según LTPP 2.1.

Estaciones		PG LTPP 2.1											
		50%						98%					
		Grado de desempeño PG			Ligante seleccionado			Grado de desempeño PG			Ligante seleccionado		
Número	Nombre	Alta	Baja	Intermedia	Alta	Baja	Intermedia	Alta	Baja	Intermedia	Alta	Baja	Intermedia
1	CHACALLUTA, ARICA AEROPUERTO	58	-10	28	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
2	DIEGO ARACENA IQUIQUE AP	52	-10	25	64	-22	25	58	-10	28	64	-22	25
3	EL LOA, CALAMA AD	52	-10	25	64	-22	25	58	-10	28	64	-22	25
4	CERRO MORENO ANTOFAGASTA AP	52	-10	25	64	-22	25	58	-10	28	64	-22	25
5	LA FLORIDA, LA SERENA AD	52	-10	25	64	-22	25	58	-10	28	64	-22	25
6	SANTO DOMINGO, AD	46	-10	22	58	-28	19	58	-10	28	58	-28	19
7	QUINTA NORMAL, SANTIAGO	58	-10	28	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
8	EULOGIO SANCHEZ, TOBALABA AD	58	-10	28	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
9	PUDAHUEL SANTIAGO	58	-10	28	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
10	GENERAL FREIRE, CURICO AD	58	-10	28	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
11	BERNARDO O'HIGGINS, CHILLAN AD	58	-10	28	64	-22	25	64	-16	28	64	-22	25
12	CARRIEL SUR, CONCEPCION	52	-10	25	64	-22	25	58	-10	28	64	-22	25
13	MANQUEHUE, TEMUCO AD	52	-10	25	64	-22	25	64	-16	28	64	-22	25
14	PICHOY, VALDIVIA AD	52	-10	25	64	-22	25	58	-16	25	64	-22	25
15	CAÑAL BAJO, OSORNO AD	52	-10	25	64	-22	25	58	-16	25	64	-22	25
16	EL TEPUAL PUERTO MONTT, AP	46	-10	22	58	-28	19	58	-16	25	58	-28	19
17	CHAITEN AD	46	-10	22	58	-28	19	58	-16	25	58	-28	19
18	FUTALEUFU AD	52	-10	25	58	-28	19	58	-16	25	58	-28	19
19	ALTO PALENA AD	52	-10	25	58	-28	19	58	-16	25	58	-28	19
20	PUERTO AYSEN AD	46	-10	22	58	-28	19	58	-16	25	58	-28	19
21	TENIENTE VIDAL, COYHAIQUE AD	52	-16	22	58	-28	19	58	-22	22	58	-28	19
22	BALMACEDA AD	52	-22	19	52	-34	13	58	-34	16	52	-34	13
23	CHILE CHICO AD	52	-16	22	58	-28	19	58	-22	22	58	-28	19
24	LORD COCHRANE AD	52	-16	22	58	-28	19	58	-22	22	58	-28	19
25	CARLOS IBAÑEZ, PUNTA ARENAS AP	46	-22	16	52	-34	13	52	-28	16	52	-34	13
26	GUARDIA MARINA ZAÑARTU, PUERTO WILLIAMS AD	46	-16	19	52	-34	13	46	-22	16	52	-34	13
27	el buitre aeródromo	58	-10	28	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
28	AZAPATA	58	-10	28	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
29	CHUNGARA AJATA	46	-10	22	58	-28	19	52	-16	22	58	-28	19
30	CODPA	52	-10	25	64	-22	25	58	-10	28	64	-22	25
31	COYACAGUA	52	-16	22	58	-28	19	58	-22	22	58	-28	19
32	LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA)	46	-16	19	58	-28	19	52	-28	16	58	-28	19
33	CASPANA	52	-10	25	64	-22	25	58	-10	28	64	-22	25
34	CHIU-CHIU	52	-10	25	64	-22	25	58	-16	25	64	-22	25
35	CONCHI EMBALSE	52	-10	25	64	-22	25	58	-16	25	64	-22	25
36	LINZOR	46	-10	22	58	-28	19	52	-16	22	58	-28	19
37	PARSHALL N 2	52	-10	25	64	-22	25	58	-16	25	64	-22	25
38	PEINE	58	-10	28	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
39	CANTO DE AGUA	58	-10	28	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
40	LA COMPAÑÍA (VALLENAR)	52	-10	25	64	-22	25	58	-10	28	64	-22	25
41	LAUTARO EMBALSE	58	-10	28	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
42	LOS LOROS	58	-10	28	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
43	SAN FELIX	58	-10	28	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
44	SANTA JUANA	58	-10	28	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
45	CAREN	58	-10	28	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
46	COGOTI EMBALSE	52	-10	25	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
47	EL TRAPICHE	52	-10	25	64	-22	25	58	-10	28	64	-22	25

Tabla 3- 11 :Grados de desempeño (PG)y ligante asignado para cada estación según LTPP 2.1 (continuación).

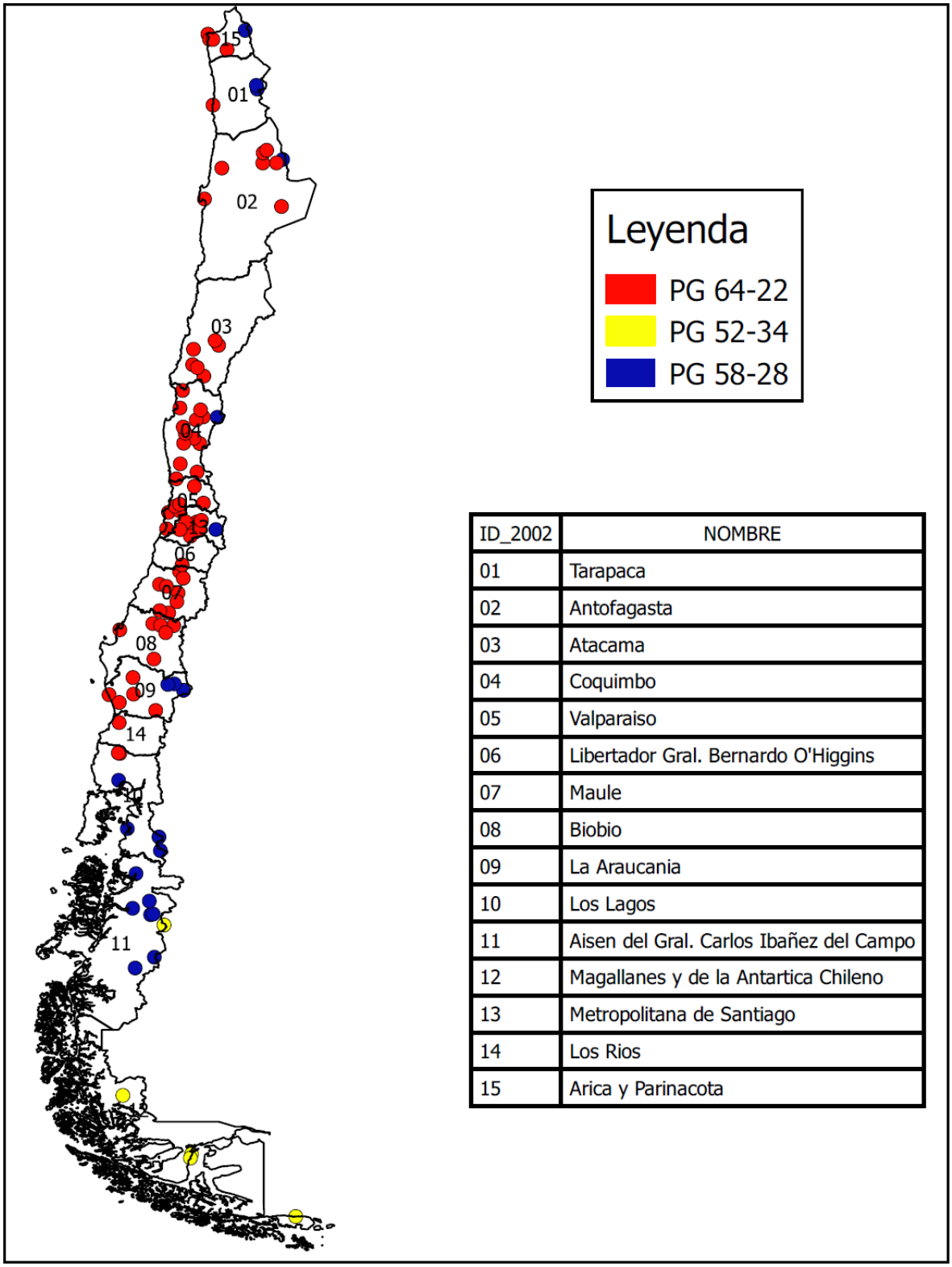
Estaciones		PG LTPP 2.1											
		50%						98%					
		Grado de desempeño PG			Ligante seleccionado			Grado de desempeño PG			Ligante seleccionado		
Número	Nombre	Alta	Baja	Intermedia	Alta	Baja	Intermedia	Alta	Baja	Intermedia	Alta	Baja	Intermedia
48	HURTADO	58	-10	28	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
49	ILLAPEL DGA	52	-10	25	64	-22	25	58	-10	28	64	-22	25
50	LA LAGUNA EMBALSE	52	-16	22	58	-28	19	58	-22	22	58	-28	19
51	LA ORTIGA	52	-10	25	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
52	LA TRANQUILLA	58	-10	28	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
53	LAS RAMADAS	58	-10	28	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
54	LOS CONDORES	52	-10	25	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
55	PALOMA EMBALSE	58	-10	28	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
56	RECOLETA EMBALSE	52	-10	25	64	-22	25	58	-10	28	64	-22	25
57	RIVADAVIA	58	-10	28	64	-22	25	64	-16	28	64	-22	25
58	ALICAHUE	52	-10	25	64	-22	25	58	-10	28	64	-22	25
59	LAGO PEÑUELAS	52	-10	25	64	-22	25	58	-10	28	64	-22	25
60	LLIU-LLIU EMBALSE	58	-10	28	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
61	LOS AROMOS	58	-10	28	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
62	QUILLOTA	58	-10	28	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
63	VILCUYA	58	-10	28	64	-22	25	64	-16	28	64	-22	25
64	CERRO CALAN	58	-10	28	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
65	EL YESO EMBALSE	52	-10	25	58	-28	19	58	-22	22	58	-28	19
66	LAGUNA ACULEO	58	-10	28	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
67	LOS PANGUILES	58	-10	28	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
68	MELIPILLA	52	-10	25	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
69	PIRQUE	58	-10	28	64	-22	25	64	-16	28	64	-22	25
70	CONVENIO VIEJO	58	-10	28	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
71	ANCOA EMBALSE	52	-10	25	64	-22	25	58	-10	28	64	-22	25
72	COLORADO	52	-10	25	64	-22	25	64	-16	28	64	-22	25
73	DIGUA EMBALSE	58	-10	28	64	-22	25	64	-16	28	64	-22	25
74	PARRAL	58	-10	28	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
75	PENCAHUE	58	-10	28	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
76	POTRERO GRANDE	58	-10	28	64	-22	25	64	-16	28	64	-22	25
77	TALCA UC	58	-10	28	64	-22	25	64	-16	28	64	-22	25
78	CARACOL	52	-10	25	64	-22	25	58	-10	28	64	-22	25
79	COIHUECO EMBALSE	58	-10	28	64	-22	25	64	-16	28	64	-22	25
80	DIGUILLIN	52	-10	25	64	-22	25	58	-10	28	64	-22	25
81	QUILACO	58	-10	28	64	-22	25	64	-16	28	64	-22	25
82	LIUCURA	58	-22	22	58	-28	19	64	-28	22	58	-28	19
83	LONQUIMAY	58	-22	22	58	-28	19	64	-28	22	58	-28	19
84	MALALCAHUELLO	52	-16	22	58	-28	19	58	-22	22	58	-28	19
85	PUCON	52	-10	25	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
86	PUERTO SAAVEDRA	52	-10	25	64	-22	25	58	-10	28	64	-22	25
87	TEODORO SCHMITD	52	-10	25	64	-22	25	58	-10	28	64	-22	25
88	TRAIGUE	52	-10	25	64	-22	25	64	-16	28	64	-22	25
89	ADOLFO MATTHEI	52	-10	25	64	-22	25	58	-16	25	64	-22	25
90	COYHAIQUE(ESCUELA AGRICOLA)	52	-16	22	58	-28	19	58	-22	22	58	-28	19
91	PUERTO PUYUHUAPI	52	-10	25	58	-28	19	58	-16	25	58	-28	19
92	VILLA MAÑIHUALES	52	-16	22	58	-28	19	58	-22	22	58	-28	19
93	PUNTA ARENAS	46	-16	19	52	-34	13	52	-22	19	52	-34	13
94	TORRES DEL PAINE	46	-22	16	52	-34	13	52	-28	16	52	-34	13

Para cumplir los criterios anteriormente mencionados, algunas estaciones fallan para un 98% de confiabilidad, según lo siguiente:

- Balmaceda AD: Falla en el grado de alta temperatura con una confiabilidad de 89%
- Lagunillas (pampa lirima): Falla para la temperatura intermedia.
- Liucura: Falla en el grado de alta temperatura con una confiabilidad de 83%
- Lonquimay: Falla en el grado de alta temperatura con una confiabilidad de 94%

Cabe mencionar, que existe más de una opción de ligante para algunas estaciones, pero el asignado en este trabajo busca obtener cierta continuidad geográfica con el fin de facilitar la implementación y utilización del mapa SUPERPAVE.

En la figura 3-1 se presenta la distribución espacial de los tres ligantes asfálticos utilizados.



ID_2002	NOMBRE
01	Tarapaca
02	Antofagasta
03	Atacama
04	Coquimbo
05	Valparaiso
06	Libertador Gral. Bernardo O'Higgins
07	Maule
08	Biobio
09	La Araucania
10	Los Lagos
11	Aisen del Gral. Carlos Ibañez del Campo
12	Magallanes y de la Antartica Chileno
13	Metropolitana de Santiago
14	Los Rios
15	Arica y Parinacota

Figura 3- 1: Distribución espacial de los ligantes asfálticos a utilizar en la zonificación (PG52-34, PG58-28, PG64-22) para el modelo LTPP 2.1.

3.4 Mapa de zonificación de Chile

Lo ideal en la realización de la zonificación sería cubrir el territorio chileno con un solo ligante asfáltico, pero por los diferentes climas que se presentan a lo largo del país esto no se puede cumplir. Al utilizar más de un ligante asfáltico, surge la necesidad de calcular el área de influencia de cada estación. El software LTPPBind 2.1 presta ayuda a ingenieros de América del Norte para la elección del ligante asfáltico de una zona cualquiera, este software posee una base de datos de 7.400 estaciones, es por ello que el ligante sugerido es calculado de los datos estadísticos de las 5 estaciones más cercanas al punto seleccionado, lo anterior no puede ser aplicado en Chile, ya que la red meteorológica no es tan robusta como en EEUU, es por ello que se deben buscar nuevas formas de zonificar.

Para poder lograr la zonificación SUPERPAVE, se debió considerar algunos criterios para calcular el área de influencia de cada estación. Estos se presentan en orden jerárquico a continuación:

- Clasificación climática de Chile según Köppen (Rioseco y Tesser, 2006).
- Curvas de nivel, definidas cada 100 metros de altura.

La clasificación Köppen (figura 3-2) se utiliza como criterio principal, pero si en una misma zona Köppen existieran dos ligantes diferentes se utilizarán las curvas de nivel para delimitar el área de influencia de cada uno, en la figura 3-3 se aprecia las curvas de nivel cada 100 metros de altura para una zona cerca de la ciudad de Talca. Para realizar lo anterior se recurrió al programa QGIS en su versión 2.12.2, el cual permite superponer diferentes capas, facilitando el trabajo. Estas capas fueron extraídas del sitio web www.rulamahue.cl/mapoteca.

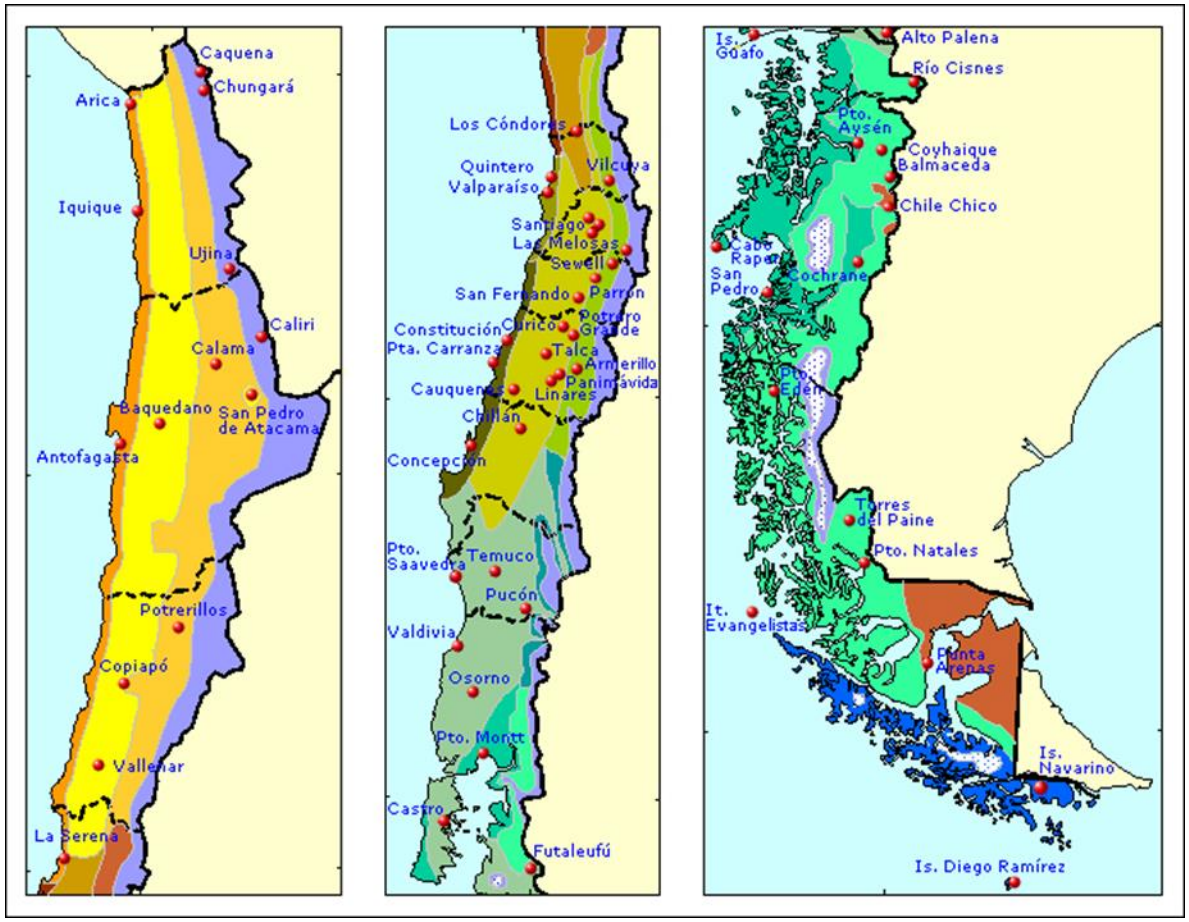


Figura 3- 2: Clasificación Köppen del territorio chileno (Rioseco y Tesser, 2006).

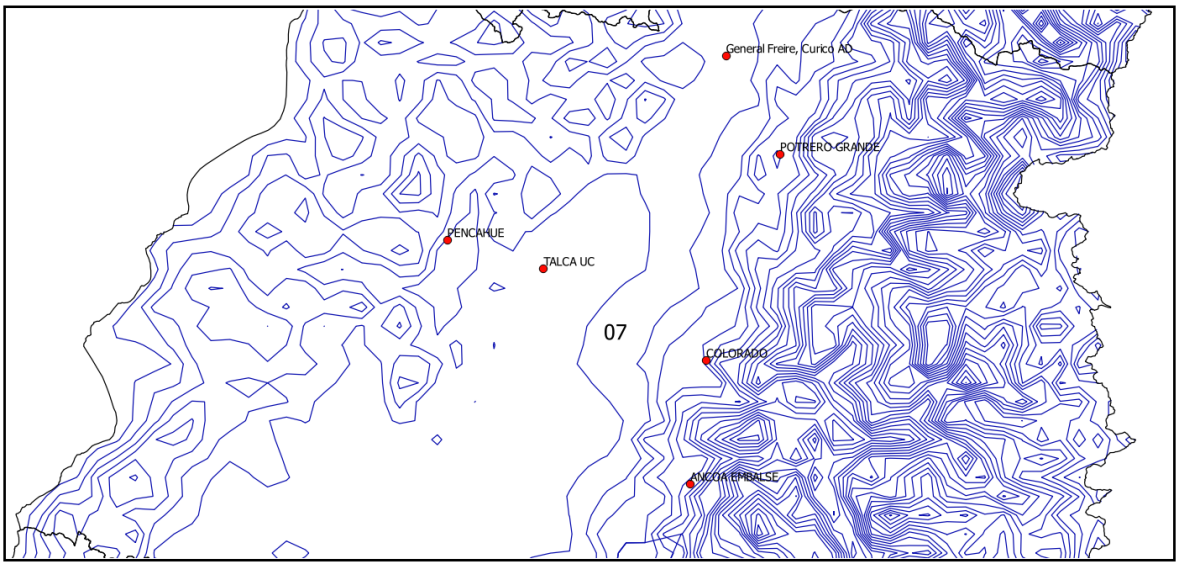


Figura 3- 3: Curvas de nivel cada 100 metros para una zona cercana a la ciudad de Talca (Rulamahue.cl, 2016).

A continuación, se presentarán diferentes casos en los que se aplicarán los criterios antes mencionados:

- Ejemplo 1: En la figura 3-4, se aprecia en amarillo una zona Köppen, la que posee solo estaciones con ligante asfáltico PG 64-22, por lo que la zona será asignada a ese grado de desempeño.

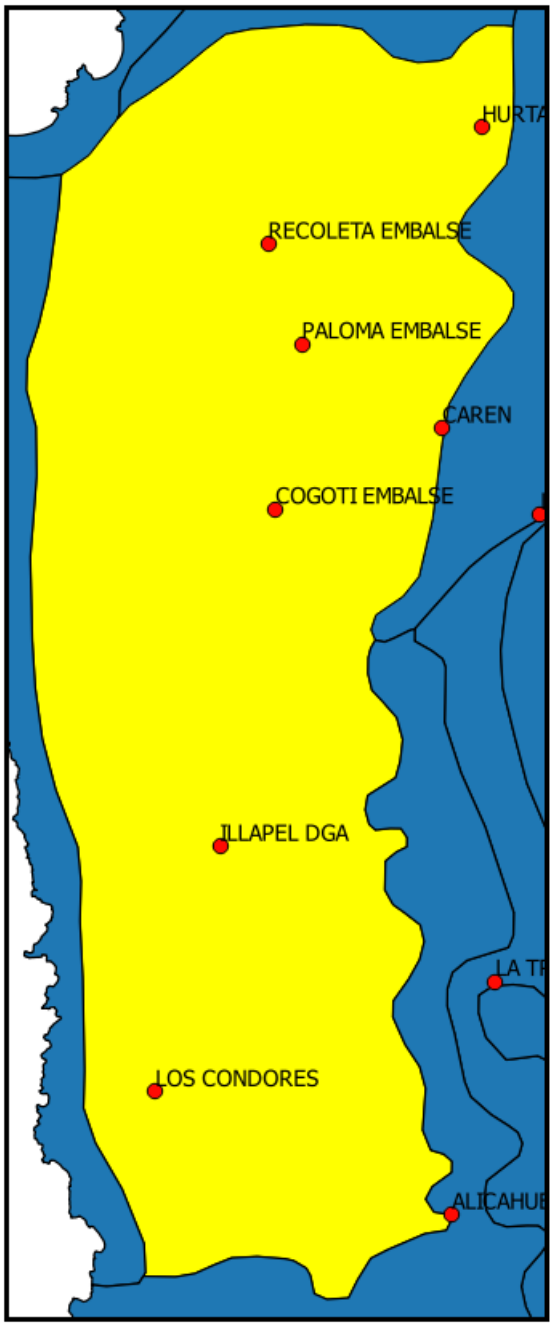


Figura 3- 4: Ejemplo 1, criterios de zonificación.

- Ejemplo 2: En la figura 3-5 se aprecia la estación Caspana con un ligante PG 64-22 y a Linzor con un PG 58-22, las dos en una misma zona Köppen, entonces se procede a delimitar el área de influencia de Caspana por la curva de nivel promedio entre las dos estaciones (3600 [m], línea roja). Cabe señalar, que la línea amarilla es el límite entre dos zonas Köppen. En la figura 3-6, se muestra la zonificación realizada.

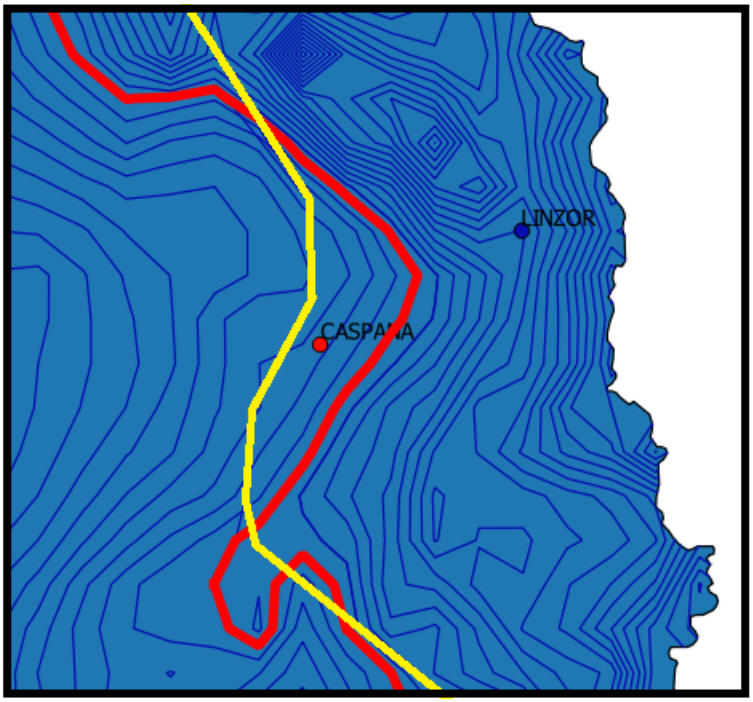


Figura 3- 5: Ejemplo 2, criterios de zonificación.

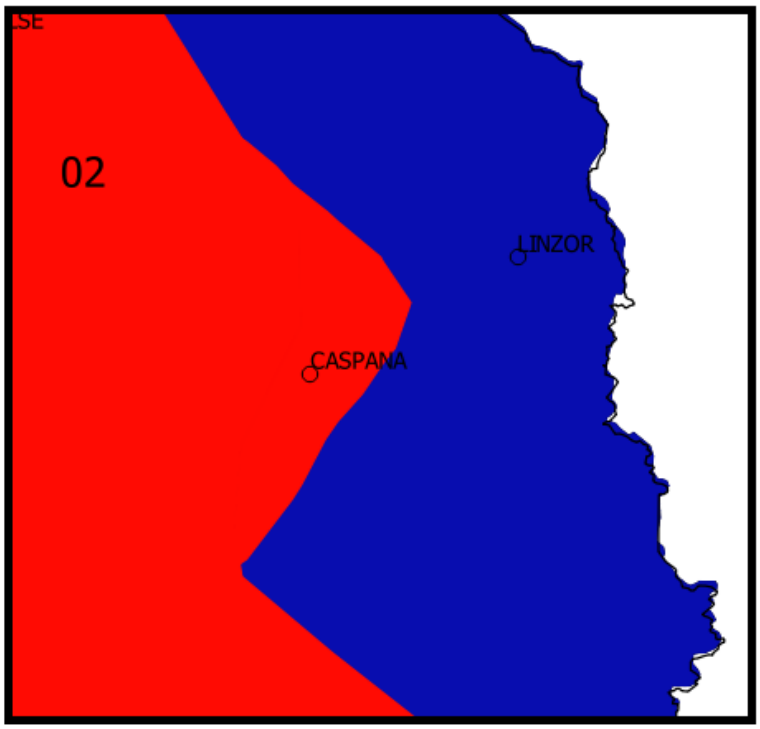


Figura 3- 6: Ejemplo 2, criterios de zonificación.

- Ejemplo 3: en la figura 3-7 se observa un caso especial, puesto que las 3 estaciones que se muestran, se encuentran en la misma zona Köppen y a una altura similar. Es por ello que los criterios anteriormente mencionados no se pueden utilizar, entonces se decidió utilizar simplemente distancia horizontal entre las dos estaciones para delimitar el área de influencia.

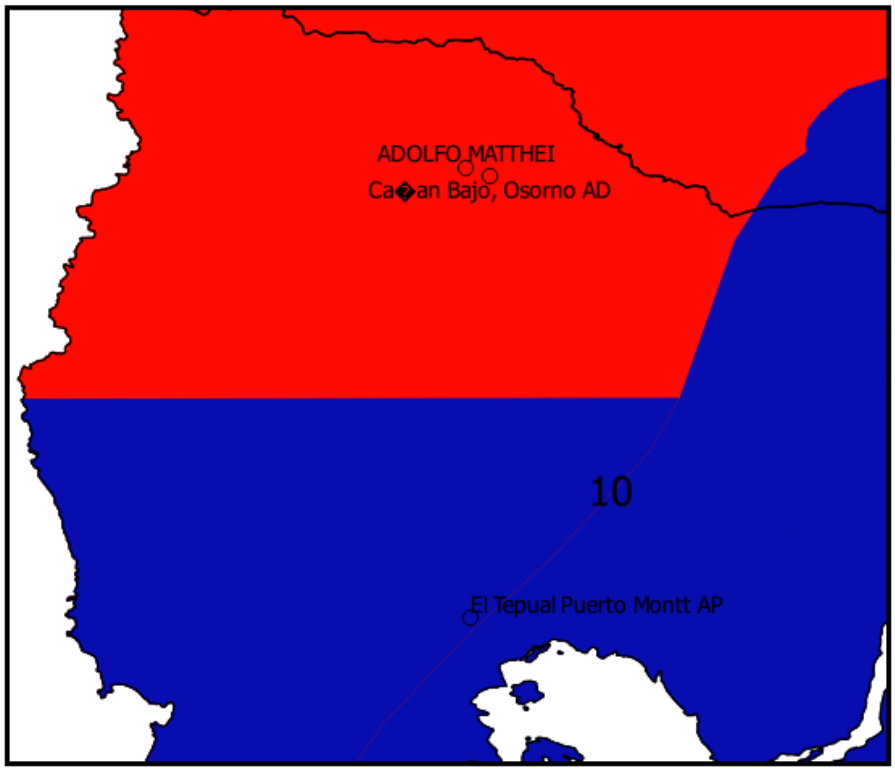
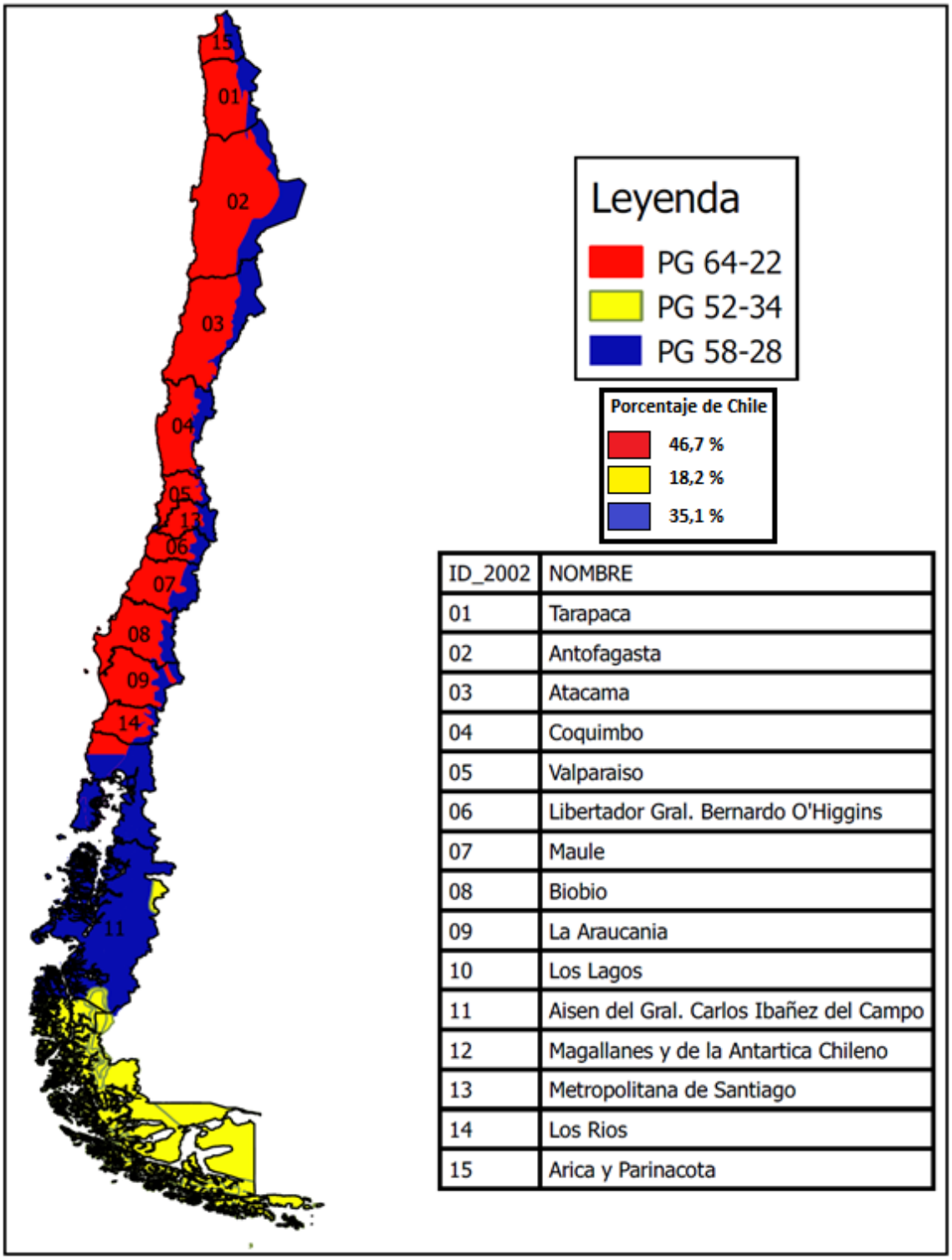


Figura 3- 7: Ejemplo 3, criterios de zonificación.

Una vez aplicados los diferentes criterios en las 94 estaciones en estudio, se obtuvo la zonificación SUPERPAVE para el territorio chileno, la cual se muestra en la figura 3-8 para un 50% y 98% de confiabilidad.

Se buscó obtener un solo mapa de zonificación para las dos confiabilidades con el fin de facilitar la implementación y utilización. Para poder lograr esto algunas estaciones no alcanzan el 98% de confiabilidad como fue descrito en el punto 3.3.



ID_2002	NOMBRE
01	Tarapaca
02	Antofagasta
03	Atacama
04	Coquimbo
05	Valparaiso
06	Libertador Gral. Bernardo O'Higgins
07	Maule
08	Biobio
09	La Araucania
10	Los Lagos
11	Aisen del Gral. Carlos Ibañez del Campo
12	Magallanes y de la Antartica Chileno
13	Metropolitana de Santiago
14	Los Rios
15	Arica y Parinacota

**Balmaceda PG 52-34: No cumple el grado de alta temperatura con una confiabilidad de 89%.*
**Lagunillas PG 52-34: No cumple con la temperatura intermedia.*
**Liucura PG 58-28: No cumple el grado de alta temperatura con una confiabilidad de 83%.*
**Lonquimay PG 58-28: No cumple el grado de alta temperatura con una confiabilidad de 94%.*
****Mapa para condiciones de circulación de alta velocidad y volumen de tránsito bajo según el anexo C.***

Figura 3- 8: Zonificación SUPERPAVE para Chile utilizando los modelos LTPP 2.1, para un 98% de confiabilidad.

3.5 Comparación de resultados con estudios de zonificación previos

Durante los años anteriores al presente trabajo, se realizaron una serie de investigaciones relacionadas con la selección de ligante asfáltico, según la metodología SUPERPAVE. Es por ello, que se utilizaran los resultados obtenidos en el presente capitulo, para realizar diferentes comparaciones.

3.5.1 Comparación zonificaciones utilizando los modelos SHRP (Segovia) y LTPP 2.1

Segovia (2015) propone una zonificación con ligantes tradicionales, utilizando las fórmulas originales de SUPERPAVE, estos resultados serán utilizados para una serie de comparaciones.

Según el estudio "LTPP Seasonal Asphalt Concrete (AC) Pavement Temperatura Models" realizado por Mohseni A. (1998), que da origen a las fórmulas LTPP 2.1, entre los grados de desempeño (PG) calculados en este capítulo y los de Segovia (2015), debería existir la siguiente relación:

- Alta temperatura:
  - Para un 50% de confiabilidad LTPP 2.1 predice PG menores que SHRP. Ejemplo

    SHRP: PG 64-YY ; LTPP 2.1: PG 58-YY
  - Para un 98% de confiabilidad LTPP 2.1 predice PG mayores que SHRP. Ejemplo

    SHRP: PG 64-YY ; LTPP 2.1: PG 70-YY
- Baja temperatura:
  - Para un 50% y 98% de confiabilidad LTPP 2.1 predice PG mayores que SHRP. Ejemplo
    SHRP: PG XX-16 ; LTPP 2.1: PG XX-10

A continuación, se presentarán cuadros comparativos de estaciones en América del Norte y Chile, en los cuales se mostrarán su grado de desempeño para LTPP 2.1 y SHRP. Las comparaciones de estaciones en Chile se realizan entre los PG calculados por Segovia (2015) y los calculados en el presente trabajo.

En las tablas 3-12 y 3-13, se aprecia la relación entre los grados de desempeño de baja temperatura, utilizando los modelos LTPP 2.1 y SHRP, para estaciones en América del Norte y Chile respectivamente, además de una confiabilidad de 50%.

Tabla 3- 12: Relación entre los grados PG para baja temperatura utilizando los modelos SHRP y LTPP 2.1 en A. del Norte, con una confiabilidad del 50 %. Fuente: "LTPP Seasonal Asphalt Concrete (AC) Pavement Temperatura Models" (Mohseni A., 1998).

	PG LTPP 2.1 A.Norte									
PG SHRP A.Norte	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-52	-58	Total
-10	1236	82								1318
-16	901	172	10							1083
-22	29	1353	166	3						1551
-28		197	1259	45	1					1502
-34			236	966	32					1234
-40				256	513	21				790
-46					91	135	47	2	1	276
-52							30	13	2	45
-58								2		2
Total	2166	1804	1671	1270	637	156	77	17	3	7801

Tabla 3- 13: Relación entre los grados PG para baja temperatura utilizando los modelos SHRP (Segovia, 2015) y LTPP 2.1 en Chile, con una confiabilidad del 50 %.

	PG LTPP 2.1 Chile							
PG SHRP Segovia Chile	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	Total
-10	66							66
-16	9	4						13
-22	3	5	2					10
-28		2	2	0				4
-34			1	0	0			1
-40				0	0	0		0
-46					0	0	0	0
Total	78	11	5	0	0	0	0	94

En las tablas 3-14 y 3-15, se aprecia la relación entre los grados de desempeño de baja temperatura (LTPP 2.1 y SHRP) para estaciones de América del Norte y Chile respectivamente, además de una confiabilidad de 98%.

Tabla 3- 14: Relación entre los grados PG para baja temperatura utilizando los modelos SHRP y LTPP 2.1 en A. del Norte, con una confiabilidad del 98 %. Fuente: "LTPP Seasonal Asphalt Concrete (AC) Pavement Temperatura Models" (Mohseni A., 1998).

	PG LTPP 2.1 A.Norte									
PG SHRP A.Norte	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-52	-58	Total
-10	457	13								470
-16	419	196	41							656
-22	7	735	197	3						942
-28		132	794	72	1					999
-34			444	1181	21	1				1647
-40				554	762	13				1329
-46					559	454	16			1029
-52					2	307	164	35	2	510
-58						2	105	70	42	219
Total	883	1076	1476	1810	1345	777	285	105	44	7801

Tabla 3- 15: Relación entre los grados PG para baja temperatura utilizando los modelos SHRP (Segovia, 2015) y LTPP 2.1 en Chile, con una confiabilidad del 98 %.

	PG LTPP 2.1 Chile							
PG SHRP Segovia Chile	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	Total
-10	24							24
-16	26	12						38
-22	1	12	4					17
-28		2	6	2				10
-34			1	1	0			2
-40				2	1	0		3
-46						0	0	0
Total	51	26	11	5	1	0	0	94

En las tablas 3-16 y 3-17, se aprecia la relación entre los grados de desempeño de alta temperatura (LTPP 2.1 y SHRP) para estaciones de América del Norte y Chile respectivamente, además de una confiabilidad de 50%.

Tabla 3- 16: Relación entre los grados PG para alta temperatura utilizando los modelos SHRP y LTPP 2.1 en A. del Norte, con una confiabilidad del 50 %. Fuente: "LTPP Seasonal Asphalt Concrete (AC) Pavement Temperatura Models" (Mohseni A., 1998).

	PG LTPP 2.1 A.Norte						
PG SHRP A.Norte	40	46	52	58	64	70	Total
40	312	57					369
46		707					707
52		319	2064				2383
58			1488	1740			3228
64				990	53		1043
70					70	1	71
Total	312	1083	3552	2730	123	1	7801

Tabla 3- 17: Relación entre los grados PG para alta temperatura utilizando los modelos SHRP (Segovia, 2015) y LTPP 2.1 en Chile, con una confiabilidad del 50 %.

	PG LTPP 2.1 Chile						
PG SHRP Segovia Chile	40	46	52	58	64	70	Total
40	0						0
46		8					8
52		3	27				30
58			18	34			52
64				4	0		4
70						0	0
Total	0	11	45	38	0	0	94

En las tablas 3-18 y 3-19, se aprecia la relación entre los grados de desempeño de alta temperatura, utilizando los modelos LTPP 2.1 y SHRP, para estaciones de América del Norte y Chile respectivamente, además de una confiabilidad de 98%.

Tabla 3- 18: Relación entre los grados PG para alta temperatura utilizando los modelos SHRP y LTPP 2.1 en A. del Norte, con una confiabilidad del 98 %. Fuente: "LTPP Seasonal Asphalt Concrete (AC) Pavement Temperatura Models" (Mohseni A., 1998).

	PG LTPP 2.1 A.Norte						
PG SHRP A.Norte	40	46	52	58	64	70	Total
40	47	86					133
46		86	302				388
52			513	784			1297
58				2623	507		3130
64				8	2583	13	2604
70					83	166	249
Total	47	172	815	3415	3173	179	7801

Tabla 3- 19: Relación entre los grados PG para alta temperatura utilizando los modelos SHRP (Segovia, 2015) y LTPP 2.1 en Chile, con una confiabilidad del 98 %.

	PG LTPP 2.1 Chile						
PG SHRP Segovia Chile	40	46	52	58	64	70	Total
40	0						0
46		1					1
52			2	4			6
58				35	5		40
64				1	32	14	47
70						0	0
Total	0	1	2	40	37	14	94

Estas tablas nos permiten comprobar que el comportamiento de las fórmulas en América del Norte, es muy similar a lo que ocurre en Chile, de todas formas, se debe considerar las diferencias estadísticas, ya que en Chile solo se tienen 94 estaciones climáticas versus 7.801 en América del Norte.

Para sintetizar los cuadros anteriores se presentan las tablas 3-20 y 3-21, para estaciones en América del Norte y Chile respectivamente.

Tabla 3- 20: Porcentaje de estaciones en A. del Norte que aumentan, mantienen o disminuyen su PG al pasar del método SHRP al LTPP 2.1. Fuente: "LTPP Seasonal Asphalt Concrete (AC) Pavement Temperatura Models" (Mohseni A., 1998).

		Diferencia en grados PG del método SHRP al método LTPP 2.1 en porcentaje; Estaciones de America Del Norte			
Modelo	**Confiabilidad**	**-1**	**0**	**1**	**2**
Baja Temperatura	**50%**	1	22	66	10
	98%	0	13	58	27
Alta Temperatura	**50%**	36	62	0	0
	98%	1	77	21	0

Tabla 3- 21: Porcentaje de estaciones en Chile que aumentan, mantienen o disminuyen su PG al pasar del método SHRP (Segovia, 2015) al LTPP 2.1.

		Diferencia en grados PG del método SHRP al método LTPP 2.1 en porcentaje; Estaciones en Chile			
Modelo	**Confiabilidad**	**-1**	**0**	**1**	**2**
Baja Temperatura	**50%**	0	77	17	6
	98%	0	45	49	6
Alta Temperatura	**50%**	27	73	0	0
	98%	1	74	24	0

Para la baja temperatura el modelo SHRP resulta ser muy conservador, puesto que entrega temperaturas del pavimento muy bajas, al contrario de LTPP 2.1, que entrega valores más altos y cercanos a la realidad. Es por esto último, que tanto en Chile como en América del Norte un gran porcentaje de estaciones, aumentan su grado PG en comparación a SHRP. En estas dos zonas se puede apreciar esta tendencia, pero en América del Norte mucho más acentuada.

En el grado de alta temperatura para una confiabilidad del 50%, se tiene que LTPP 2.1 entrega temperaturas de pavimento menores y por consiguiente PG menores. Para una confiabilidad del 98% ocurre lo contrario, LTPP 2.1 entrega temperatura del pavimento más altas (PG mayores), lo anterior ocurre porque LTPP 2.1 en comparación a SHRP, incorpora la variabilidad del modelo.

Comparando los mapas de zonificación realizados, éstos concuerdan con los resultados mostrados anteriormente. En general, con el modelo LTPP 2.1 se obtienen ligantes más rígidos. Entrando en mayor detalle, si aplicamos los ligantes utilizados en el presente estudio, a los PG teóricos calculados por Segovia, para una confiablidad de un 50 %, encontraríamos 7 estaciones que no cumplirían, ubicadas principalmente en el sector cordillerano de la zona norte.

Realizando el mismo procedimiento anterior, para una confiabilidad de 98%, encontraríamos 9 estaciones que no cumplirían, las cuales se ubican en el sector cordillerano de la zona Norte y central, además de Puerto Saavedra en la zona sur.

3.5.2 Comparación zonificaciones utilizando los modelos SHRP (Morales) y LTPP 2.1

Morales (2013) en su trabajo “Zonificación de temperaturas para la evaluación y aplicación de mezclas asfálticas diseñadas según la metodología SUPERPAVE para el uso en Chile”, calcula la temperatura del pavimento asfáltico, según las fórmulas SHRP y LTPP 2.1, descritas en los puntos 2.1.5.1 y 2.1.5.2, respectivamente. Como resultado final, obtiene una zonificación SUPERPAVE de Chile, usando las fórmulas LTPP 2.1. Utiliza 109 estaciones a lo largo de Chile, las cuales provienen de anuarios climatológicos y agroclimáticos, además de información de la página WEB de la Dirección Meteorológica de Chile. En total de las 109 estaciones utilizadas por Morales, 25 coinciden con el presente trabajo, por ende, la comparación se realizará en base a esas estaciones.

En la tabla 3-20, se comparan los grados de desempeño (PG) obtenidos por cada investigación, además de los ligantes asfálticos tradicionales escogidos en el presente trabajo.

Tabla 3- 22: Comparación de los grados de desempeño calculados en la presente investigación y en la realizada por Morales (2013).

	Confiabilidad					
	50%			98%		
Estación	**PG LTPP 2.1 Arteaga**	**PG LTPP 2.1 Morales**	**Ligante asfáltico tradicional seleccionado en la zonificación**	**PG LTPP 2.1 Arteaga**	**PG LTPP 2.1 Morales**	**Ligante asfáltico tradicional seleccionado en la zonificación**
CHACALLUTA, ARICA AEROPUERTO	58-10	52-10	64-22	64-10	58-10	64-22
DIEGO ARACENA IQUIQUE AP	52-10	52-10	64-22	58-10	58-10	64-22
EL LOA, CALAMA AD	52-10	52-10	64-22	58-10	58-10	64-22
CERRO MORENO ANTOFAGASTA AP	52-10	52-10	64-22	58-10	58-10	64-22
LA FLORIDA, LA SERENA AD**	52-10	52-10	64-22	58-10	58-10	64-22
QUINTA NORMAL, SANTIAGO	58-10	58-10	64-22	64-10	64-10	64-22
EULOGIO SANCHEZ, TOBALABA AD	58-10	58-10	64-22	64-10	64-10	64-22
PUDAHUEL SANTIAGO	58-10	58-10	64-22	64-10	64-10	64-22
GENERAL FREIRE, CURICO AD**	58-10	58-10	64-22	64-10	64-10	64-22
BERNARDO O'HIGGINS, CHILLAN AD	58-10	58-10	64-22	64-10	64-10	64-22
CARRIEL SUR, CONCEPCION	52-10	52-10	64-22	58-10	58-10	64-22
MANQUEHUE, TEMUCO AD	52-10	58-10	64-22	64-16	64-10	64-22
PICHOY, VALDIVIA AD	52-10	52-10	64-22	58-16	58-10	64-22
CAÑAL BAJO, OSORNO AD	52-10	52-10	64-22	58-16	58-10	64-22
EL TEPUAL PUERTO MONTT, AP	46-10	52-10	58-28	58-16	58-10	58-28
CHAITEN AD	46-10	46-10	58-28	58-16	58-10	58-28
FUTALEUFU AD	52-10	52-10	58-28	58-16	58-16	58-28
ALTO PALENA AD	52-10	52-10	58-28	58-16	58-16	58-28
PUERTO AYSEN AD	46-10	46-10	58-28	58-16	58-16	58-28
TENIENTE VIDAL, COYHAIQUE AD	52-16	52-10	58-28	58-22	58-22	58-28
BALMACEDA AD	52-22	52-16	52-34	58-34	58-28	52-34
CHILE CHICO AD	52-16	52-10	58-28	58-22	58-16	58-28
LORD COCHRANE AD	52-16	52-10	58-28	58-22	58-16	58-28
CARLOS IBAÑEZ, PUNTA ARENAS AP	46-22	46-16	52-34	52-28	52-22	52-34
GUARDIA MARINA ZAÑARTU, PUERTO WILLIAMS AD	46-16	46-16	52-34	46-22	46-16	52-34

En la tabla anterior, se puede apreciar que el presente estudio entrega grados de baja temperatura menores a los de Morales, para las dos confiabilidades en estudio (cuadros azules), además de otras diferencias en el grado de alta temperatura (cuadros rojos), pero en general se comportan relativamente parecidos.

Al aplicar los ligantes tradicionales seleccionados en este estudio a los PG obtenidos por Morales, estos cumplen las 3 condiciones (Temperatura alta, bajá e intermedia), excepto para la estación de Balmaceda.

Comparando los mapas de zonificación SUPERPAVE se tiene lo siguiente:

- Norte grande: Morales recomienda un PG 58-10, en el caso de este estudio se utiliza PG 64-22 por lo cual se cumplen los 3 requisitos.
- Norte chico: Morales recomienda un PG 64-10 y PG 58-10, en el caso de este estudio se utiliza PG 64-22 por lo cual se cumplen los 3 requisitos.
- Zona central: Morales recomienda un PG 64-10 y PG 58-10, en el caso de este estudio se utiliza PG 64-22 por lo cual se cumplen los 3 requisitos.
- Zona sur: Morales recomienda un PG 64-10 y PG 58-10, en el caso de este estudio se utiliza PG 64-22 y PG 58-28 los dos ligantes cumpliendo los 3 requisitos.
- Zona austral:
    - X y XI Región: Al sur de puerto Montt y para la región de Aysén, Morales recomienda PG 58-10, PG 58-16, PG 58-28 y PG58-22, en el caso de este estudio se utiliza un PG 58-28 el cual cumple los 3 requisitos.
    - XII Región: Morales recomienda PG 52-22 y PG 46-16, en el caso de este estudio se utiliza un PG 52-34 el cual cumple los 3 requisitos.

4. ZONIFICACIÓN SUPERPAVE SEGÚN SOFTWARE LTPPBIND 3.1

El modelo basado en daño (LTPP 3.1), es una metodología mejorada para el cálculo del grado de alta temperatura. Fue desarrollada en base a datos climáticos por hora, los cuales proporcionan una representación más precisa de las condiciones de alta temperatura del pavimento.

En el procedimiento de selección original (SHRP) no se consideraba la extensión de los periodos calurosos, por lo cual el nuevo modelo de daño, viene a solucionar esa problemática. Se observó que los grados de alta temperatura recomendados por SHRP para el sur de EEUU no eran adecuados, según observaciones del departamento de transporte de esas zonas.

En ocasiones, dos lugares con diferente duración del periodo caluroso, tenían un PG SHRP similar, lo que ocasionaba problemas en climas como los del sur de EEUU, donde el periodo caluroso se extiende por varios meses, ya que cuanto más tiempo un pavimento se ve expuesto a altas temperaturas, mayor será la formación de ahuellamiento.

Este modelo, sólo aplica para el grado de alta temperatura, manteniendo el modelo LTPP 2.1 para el grado de baja temperatura.

4.1 Estaciones climáticas a utilizar en la zonificación SUPERPAVE

Para aplicar este método, se utilizarán las estaciones y datos escogidos en el punto 3.1 del presente trabajo. Este modelo necesita un nuevo indicador llamado Grados-Días sobre 10°C el cual se calculará para las 94 estaciones en estudio (tabla 4-1).

Tabla 4- 1: Parámetro Grados-Días (DD) para todas las estaciones en estudio.

Estaciones		
Número	**Nombre**	**Grados-Días sobre 10°C promedio[°C-Días]**
1	CHACALLUTA, ARICA AEROPUERTO	2592,06
2	DIEGO ARACENA IQUIQUE AP	2485,21
3	EL LOA, CALAMA AD	2601,32
4	CERRO MORENO ANTOFAGASTA AP	2163,50
5	LA FLORIDA, LA SERENA AD	1794,28
6	SANTO DOMINGO, AD	1678,24
7	QUINTA NORMAL, SANTIAGO	3149,01
8	EULOGIO SANCHEZ, TOBALABA AD	3097,33
9	PUDAHUEL SANTIAGO	3134,45
10	GENERAL FREIRE, CURICO AD	2974,97
11	BERNARDO O'HIGGINS, CHILLAN AD	2775,42
12	CARRIEL SUR, CONCEPCION	1920,18
13	MANQUEHUE, TEMUCO AD	2110,54
14	PICHOY, VALDIVIA AD	1971,04
15	CAÑAL BAJO, OSORNO AD	1826,37
16	EL TEPUAL PUERTO MONTT, AP	1402,12
17	CHAITEN AD	1108,45
18	FUTALEUFU AD	1659,17
19	ALTO PALENA AD	1556,58
20	PUERTO AYSEN AD	1130,16
21	TENIENTE VIDAL, COYHAIQUE AD	1319,00
22	BALMACEDA AD	1097,92
23	CHILE CHICO AD	1801,23
24	LORD COCHRANE AD	1433,30
25	CARLOS IBAÑEZ, PUNTA ARENAS AP	634,36
26	GUARDIA MARINA ZAÑARTU, PUERTO WILLIAMS AD	489,24
27	el buitre aeródromo	2799,08
28	AZAPATA	2874,30
29	CHUNGARA AJATA	516,47
30	CODPA	2590,33
31	COYACAGUA	1372,89
32	LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA)	962,61
33	CASPANA	1847,25
34	CHIU-CHIU	2423,04
35	CONCHI EMBALSE	2042,40
36	LINZOR	751,29
37	PARSHALL N 2	1697,78
38	PEINE	3163,72
39	CANTO DE AGUA	2939,45
40	LA COMPAÑÍA (VALLENAR)	2720,76
41	LAUTARO EMBALSE	3784,82
42	LOS LOROS	3546,85
43	SAN FELIX	3717,28
44	SANTA JUANA	3142,64
45	CAREN	3329,81
46	COGOTI EMBALSE	3001,74
47	EL TRAPICHE	2459,82

Tabla 4-1: Parámetro Grados-Días (DD) para todas las estaciones en estudio (continuación).

Estaciones		
Número	**Nombre**	**Grados-Días sobre 10°C promedio[°C-Días]**
48	HURTADO	3178,44
49	ILLAPEL DGA	3033,79
50	LA LAGUNA EMBALSE	1558,03
51	LA ORTIGA	3084,17
52	LA TRANQUILLA	3165,84
53	LAS RAMADAS	2939,15
54	LOS CONDORES	2547,37
55	PALOMA EMBALSE	3190,72
56	RECOLETA EMBALSE	2883,45
57	RIVADAVIA	3315,54
58	ALICAHUE	2769,29
59	LAGO PEÑUELAS	2165,88
60	LLIU-LLIU EMBALSE	2846,80
61	LOS AROMOS	2575,93
62	QUILLOTA	2728,20
63	VILCUYA	3092,85
64	CERRO CALAN	3243,26
65	EL YESO EMBALSE	1537,80
66	LAGUNA ACULEO	3320,99
67	LOS PANGUILES	3088,14
68	MELIPILLA	2838,04
69	PIRQUE	3003,08
70	CONVENIO VIEJO	2959,96
71	ANCOA EMBALSE	2625,62
72	COLORADO	2575,04
73	DIGUA EMBALSE	2696,42
74	PARRAL	2856,17
75	PENCAHUE	3362,95
76	POTRERO GRANDE	2813,83
77	TALCA UC	3031,56
78	CARACOL	2478,39
79	COIHUECO EMBALSE	2870,09
80	DIGUILLIN	2198,66
81	QUILACO	2688,11
82	LIUCURA	2162,03
83	LONQUIMAY	2155,32
84	MALALCAHUELLO	1643,21
85	PUCON	2002,97
86	PUERTO SAAVEDRA	1494,76
87	TEODORO SCHMITD	1926,54
88	TRAIGUE	2236,38
89	ADOLFO MATTHEI	1944,81
90	COYHAIQUE(ESCUELA AGRICOLA)	1347,68
91	PUERTO PUYUHUAPI	1147,66
92	VILLA MAÑIHUALES	1490,27
93	PUNTA ARENAS	677,10
94	TORRES DEL PAINE	952,32

4.2 Cálculo temperatura del pavimento y asignación de grado de desempeño (PG)

El modelo basado en daño (LTPP 3.1) utiliza datos como grados-días sobre 10°C, latitud y ahuellamiento permitido, para el cálculo del grado de desempeño, a través de las siguientes fórmulas:

$$PG_d = 48{,}2 + 14 * DD_{aire} - 0{,}96 * (DD_{aire})^2 - 2 * RD$$

(Fórmula 4- 1)

$Donde$:

PG_d: $Grado\ de\ alta\ temperatura\ basado\ en\ daño\ LTPP\ 3.1 \quad [°C]$

DD_{aire}: $Promedio\ de\ las\ sumas\ anuales\ de\ Grados - días\ sobre\ 10°C \quad [1000°C - Días]$

RD: $Profundidad\ del\ ahuellamiento\ permitido\ (5 - 13\ mm)\ [mm]$

$$CV_{PG} = 0{,}00003 * (Lat - 20)^2 * RD^2$$

(Fórmula 4- 2)

$Donde$:

CV_{PG}: $Coeficiente\ de\ variación\ anual\ del\ PG \quad [\%]$

Lat: $Latitud\ geográfica\ de\ la\ zona\ en\ estudio\ en\ grados$

RD: $Profundidad\ del\ ahuellamiento\ permitido\ (5 - 13\ mm)\ [mm]$

Finalmente combinando las fórmulas 4-1 y 4-2, se obtiene la fórmula 4-3.

$$PG_{confiabilidad} = PG_d + Z * PG_d * \frac{CV_{PG}}{100}$$

(Fórmula 4- 3)

$Donde$:

$PG_{Confiabilidad}$: $Grado\ de\ alta\ temperatura\ basado\ en\ daño(LTPP\ 3.1)\ para\ cierta\ confiabilidad \quad [°C]$

CV_{PG}: $Coeficiente\ de\ variación\ anual\ del\ PG \quad [\%]$

Z: $Variable\ estándar\ de\ la\ distribución\ normal$

PG_d: $Grado\ de\ alta\ temperatura\ basado\ en\ daño\ LTPP\ 3.1 \quad [°C]$

El grado de baja temperatura, se calculará utilizando las fórmulas descritas en el punto 3.2 del presente trabajo (fórmula LTPP 2.1).

Para el cálculo del grado de alta temperatura, se utilizará un ahuellamiento permitido de 12,5 [mm], el cual es el valor utilizado por el programa LTPPBind 3.1.

En la tabla 4-2, se aprecia el PG teórico de cada estación en estudio.

Tabla 4- 2: Clasificación SUPERPAVE por estación según el modelo basado en daño LTPP 3.1.

Estaciones		Latitud	DD promedio[1000°C-Dias]	Temperatura pavimento				PG Modelo de daño LTPP 3.1			
Número	Nombre			T° max modelo de daño LTPP 3.1		T° min modelo de daño LTPP 3.1		Alta	Baja	Alta	Baja
				50%	98%	50%	98%	50%		98%	
1	CHACALLUTA, ARICA AEROPUERTO	-18,3514	2,59	53,0	53,05	10,02	4,76	58	-10	58	-10
2	DIEGO ARACENA IQUIQUE AP	-20,5467	2,49	52,1	52,07	10,97	6,00	58	-10	58	-10
3	EL LOA, CALAMA AD	-22,4953	2,60	53,1	53,16	-3,83	-9,98	58	-10	58	-10
4	CERRO MORENO ANTOFAGASTA AP	-23,4503	2,16	49,0	49,06	4,99	-0,10	52	-10	52	-10
5	LA FLORIDA, LA SERENA AD	-29,9172	1,79	45,2	45,71	3,75	-1,79	46	-10	46	-10
6	SANTO DOMINGO, AD	-33,6550	1,68	44,0	44,89	0,07	-6,58	46	-10	46	-10
7	QUINTA NORMAL, SANTIAGO	-33,4450	3,15	57,8	58,91	0,20	-6,20	58	-10	64	-10
8	EULOGIO SANCHEZ, TOBALABA AD	-33,4544	3,10	57,4	58,49	0,12	-6,04	58	-10	64	-10
9	PUDAHUEL SANTIAGO	-33,5419	3,13	57,7	58,80	-2,21	-9,17	58	-10	64	-10
10	GENERAL FREIRE, CURICO AD	-34,9664	2,97	56,4	57,73	-2,45	-9,54	58	-10	58	-10
11	BERNARDO O'HIGGINS, CHILLAN AD	-36,5872	2,78	54,7	56,30	-3,20	-10,38	58	-10	58	-16
12	CARRIEL SUR, CONCEPCION	-36,7792	1,92	46,5	47,97	-0,96	-8,02	52	-10	52	-10
13	MANQUEHUE, TEMUCO AD	-38,7700	2,11	48,5	50,34	-4,65	-12,16	52	-10	52	-16
14	PICHOY, VALDIVIA AD	-39,6511	1,97	47,1	49,05	-4,28	-11,78	52	-10	52	-16
15	CAÑAL BAJO, OSORNO AD	-40,6050	1,83	45,6	47,68	-5,16	-12,70	46	-10	52	-16
16	EL TEPUAL PUERTO MONTT, AP	-41,4350	1,40	40,9	43,00	-4,79	-11,93	46	-10	46	-16
17	CHAITEN AD	-42,9311	1,11	37,5	39,69	-3,93	-10,54	46	-10	46	-16
18	FUTALEUFU AD	-43,1892	1,66	43,8	46,36	-7,76	-14,50	46	-10	52	-16
19	ALTO PALENA AD	-43,6117	1,56	42,7	45,26	-7,83	-14,27	46	-10	46	-16
20	PUERTO AYSEN AD	-45,3961	1,13	37,8	40,46	-7,24	-13,40	46	-10	46	-16
21	TENIENTE VIDAL, COYHAIQUE AD	-45,5939	1,32	40,0	42,86	-14,95	-21,92	46	-16	46	-22
22	BALMACEDA AD	-45,9125	1,10	37,4	40,16	-21,18	-29,43	46	-22	46	-34
23	CHILE CHICO AD	-46,9086	1,80	45,3	48,88	-11,55	-18,43	46	-16	52	-22
24	LORD COCHRANE AD	-47,2444	1,43	41,3	44,64	-13,40	-19,82	46	-16	46	-22
25	CARLOS IBAÑEZ, PUNTA ARENAS AP	-53,0050	0,63	31,7	35,46	-17,51	-23,67	46	-22	46	-28
26	GUARDIA MARINA ZAÑARTU, PUERTO WILLIAMS AD	-54,9317	0,49	29,8	33,79	-13,95	-19,83	46	-16	46	-22
27	el buitre aeródromo	-18,5119	2,80	54,9	54,88	9,42	3,90	58	-10	58	-10
28	AZAPATA	-18,5156	2,87	55,5	55,52	5,82	-0,01	58	-10	58	-10
29	CHUNGARA AJATA	-18,2353	0,52	30,2	30,18	-4,58	-10,35	46	-10	46	-16
30	CODPA	-18,8322	2,59	53,0	53,03	4,33	-1,14	58	-10	58	-10
31	COYACAGUA	-20,0531	1,37	40,6	40,61	-10,62	-17,74	46	-16	46	-22
32	LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA)	-19,9333	0,96	35,8	35,79	-13,12	-22,80	46	-16	46	-28
33	CASPANA	-22,3367	1,85	45,8	45,81	-1,07	-6,82	46	-10	46	-10
34	CHIU-CHIU	-22,3378	2,42	51,5	51,52	-4,88	-11,53	52	-10	52	-16
35	CONCHI EMBALSE	-22,0250	2,04	47,8	47,81	-6,27	-13,19	52	-10	52	-16
36	LINZOR	-22,2297	0,75	33,2	33,19	-8,61	-14,83	46	-10	46	-16
37	PARSHALL N 2	-21,9428	1,70	44,2	44,22	-5,53	-11,90	46	-10	46	-16
38	PEINE	-23,6842	3,16	57,9	57,97	2,14	-3,58	58	-10	58	-10
39	CANTO DE AGUA	-28,0992	2,94	56,1	56,46	-2,02	-8,95	58	-10	58	-10
40	LA COMPAÑÍA (VALLENAR)	-28,5761	2,72	54,2	54,62	2,48	-3,23	58	-10	58	-10
41	LAUTARO EMBALSE	-27,9783	3,78	62,4	62,87	-0,62	-7,72	64	-10	64	-10
42	LOS LOROS	-27,8317	3,55	60,8	61,19	1,21	-4,83	64	-10	64	-10
43	SAN FELIX	-28,9311	3,72	62,0	62,52	0,17	-6,05	64	-10	64	-10
44	SANTA JUANA	-28,6672	3,14	57,7	58,19	3,11	-2,85	58	-10	64	-10
45	CAREN	-30,8547	3,33	59,2	59,93	1,58	-4,67	64	-10	64	-10
46	COGOTI EMBALSE	-31,0078	3,00	56,6	57,32	0,47	-5,50	58	-10	58	-10
47	EL TRAPICHE	-29,3731	2,46	51,8	52,33	1,51	-4,04	52	-10	58	-10

Tabla 4-2: Clasificación SUPERPAVE por estación según el modelo basado en daño LTPP 3.1(continuación).

Estaciones		Latitud	DD promedio[1000°C-Dias]	Temperatura pavimento				PG Modelo de daño LTPP 3.1			
Número	Nombre			T° max modelo de daño LTPP 3.1		T° min modelo de daño LTPP 3.1		Alta	Baja	Alta	Baja
				50%	98%	50%	98%	50%		98%	
48	HURTADO	-30,2867	3,18	58,0	58,67	0,1	-7,1	58	-10	64	-10
49	ILLAPEL DGA	-31,6450	3,03	56,8	57,68	1,2	-4,8	58	-10	58	-10
50	LA LAGUNA EMBALSE	-30,2033	1,56	42,7	43,17	-10,6	-17,4	46	-16	46	-22
51	LA ORTIGA	-30,1939	3,08	57,2	57,90	-0,1	-6,6	58	-10	58	-10
52	LA TRANQUILLA	-31,9000	3,17	57,9	58,80	0,0	-6,4	58	-10	64	-10
53	LAS RAMADAS	-31,0181	2,94	56,1	56,80	-1,8	-8,9	58	-10	58	-10
54	LOS CONDORES	-32,1086	2,55	52,6	53,48	0,7	-5,0	58	-10	58	-10
55	PALOMA EMBALSE	-30,6958	3,19	58,1	58,82	2,9	-2,8	64	-10	64	-10
56	RECOLETA EMBALSE	-30,5069	2,88	55,6	56,26	3,6	-1,9	58	-10	58	-10
57	RIVADAVIA	-29,9772	3,32	59,1	59,71	-3,6	-10,0	64	-10	64	-16
58	ALICAHUE	-32,3408	2,77	54,6	55,52	0,0	-6,1	58	-10	58	-10
59	LAGO PEÑUELAS	-33,1450	2,17	49,0	49,94	-0,4	-6,9	52	-10	52	-10
60	LLIU-LLIU EMBALSE	-33,0986	2,85	55,3	56,31	1,2	-4,8	58	-10	58	-10
61	LOS AROMOS	-32,9578	2,58	52,9	53,86	0,7	-5,5	58	-10	58	-10
62	QUILLOTA	-32,8958	2,73	54,2	55,23	-0,8	-7,6	58	-10	58	-10
63	VILCUYA	-32,8603	3,09	57,3	58,35	-3,2	-10,0	58	-10	64	-16
64	CERRO CALAN	-33,3950	3,24	58,5	59,65	1,1	-5,1	64	-10	64	-10
65	EL YESO EMBALSE	-33,6767	1,54	42,5	43,33	-8,9	-16,3	46	-10	46	-22
66	LAGUNA ACULEO	-33,8858	3,32	59,1	60,35	-1,5	-8,5	64	-10	64	-10
67	LOS PANGUILES	-33,4386	3,09	57,3	58,41	0,1	-6,4	58	-10	64	-10
68	MELIPILLA	-33,6803	2,84	55,2	56,33	0,9	-5,4	58	-10	58	-10
69	PIRQUE	-33,6736	3,00	56,6	57,74	-4,5	-11,4	58	-10	58	-16
70	CONVENIO VIEJO	-34,7694	2,96	56,2	57,57	-1,7	-8,2	58	-10	58	-10
71	ANCOA EMBALSE	-35,9106	2,63	53,3	54,81	-3,0	-9,7	58	-10	58	-10
72	COLORADO	-35,6381	2,58	52,9	54,30	-7,2	-14,2	58	-10	58	-16
73	DIGUA EMBALSE	-36,2558	2,70	54,0	55,53	-3,3	-10,0	58	-10	58	-16
74	PARRAL	-36,1878	2,86	55,4	56,94	-2,0	-9,2	58	-10	58	-10
75	PENCAHUE	-35,3725	3,36	59,4	60,96	-1,4	-8,8	64	-10	64	-10
76	POTRERO GRANDE	-35,1833	2,81	55,0	56,38	-4,0	-11,2	58	-10	58	-16
77	TALCA UC	-35,4358	3,03	56,8	58,30	-2,9	-10,1	58	-10	64	-16
78	CARACOL	-36,6511	2,48	52,0	53,57	-2,3	-8,2	58	-10	58	-10
79	COIHUECO EMBALSE	-36,6408	2,87	55,5	57,15	-3,9	-11,1	58	-10	58	-16
80	DIGUILLIN	-36,8686	2,20	49,3	50,87	-3,3	-9,7	52	-10	52	-10
81	QUILACO	-37,6850	2,69	53,9	55,74	-4,6	-12,2	58	-10	58	-16
82	LIUCURA	-38,6517	2,16	49,0	50,84	-19,7	-27,6	52	-22	52	-28
83	LONQUIMAY	-38,4536	2,16	48,9	50,73	-16,7	-24,0	52	-22	52	-28
84	MALALCAHUELLO	-38,4703	1,64	43,6	45,24	-10,3	-16,9	46	-16	46	-22
85	PUCON	-39,2753	2,00	47,4	49,31	-2,5	-8,8	52	-10	52	-10
86	PUERTO SAAVEDRA	-38,7886	1,49	42,0	43,60	-1,9	-8,1	46	-10	46	-10
87	TEODORO SCHMITD	-39,0278	1,93	46,6	48,45	-3,2	-9,9	52	-10	52	-10
88	TRAIGUE	-38,2561	2,24	49,7	51,52	-4,6	-11,4	52	-10	52	-16
89	ADOLFO MATTHEI	-40,5883	1,94	46,8	48,96	-4,7	-11,9	52	-10	52	-16
90	COYHAIQUE(ESCUELA AGRICOLA)	-45,5739	1,35	40,3	43,20	-14,1	-20,8	46	-16	46	-22
91	PUERTO PUYUHUAPI	-44,3228	1,15	38,0	40,46	-5,6	-11,9	46	-10	46	-16
92	VILLA MAÑIHUALES	-45,1733	1,49	41,9	44,83	-12,2	-18,5	46	-16	46	-22
93	PUNTA ARENAS	-53,1233	0,68	32,2	36,10	-13,3	-19,3	46	-16	46	-22
94	TORRES DEL PAINE	-51,1842	0,95	35,7	39,45	-17,0	-24,9	46	-22	46	-28

4.3 Asignación de un ligante tradicional a cada estación en estudio

La asignación del ligante se realizará siguiendo el procedimiento descrito en el punto 3.4 del presente trabajo. A continuación, se presenta la tabla 4-3 en la cual se le asigna un ligante tradicional a cada estación.

Tabla 4- 3: Grados de desempeño (PG)y ligante asignado para cada estación según el modelo basado en daño LTPP 3.1.

Estaciones		PG modelo de daño LTPP 3.1											
		50%						98%					
		PG Teórico			Ligante seleccionado			PG Teórico			Ligante seleccionado		
Número	Nombre	Alta	Baja	Intermedia	Alta	Baja	Intermedia	Alta	Baja	Intermedia	Alta	Baja	Intermedia
1	CHACALLUTA, ARICA AEROPUERTO	58	-10	28	58	-28	19	58	-10	28	58	-28	19
2	DIEGO ARACENA IQUIQUE AP	58	-10	28	58	-28	19	58	-10	28	58	-28	19
3	EL LOA, CALAMA AD	58	-10	28	58	-28	19	58	-10	28	58	-28	19
4	CERRO MORENO ANTOFAGASTA AP	52	-10	25	58	-28	19	52	-10	25	58	-28	19
5	LA FLORIDA, LA SERENA AD	46	-10	22	58	-28	19	46	-10	22	58	-28	19
6	SANTO DOMINGO, AD	46	-10	22	58	-28	19	46	-10	22	58	-28	19
7	QUINTA NORMAL, SANTIAGO	58	-10	28	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
8	EULOGIO SANCHEZ, TOBALABA AD	58	-10	28	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
9	PUDAHUEL SANTIAGO	58	-10	28	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
10	GENERAL FREIRE, CURICO AD	58	-10	28	64	-22	25	58	-10	28	64	-22	25
11	BERNARDO O'HIGGINS, CHILLAN AD	58	-10	28	64	-22	25	58	-16	25	64	-22	25
12	CARRIEL SUR, CONCEPCION	52	-10	25	58	-28	19	52	-10	25	58	-28	19
13	MANQUEHUE, TEMUCO AD	52	-10	25	58	-28	19	52	-16	22	58	-28	19
14	PICHOY, VALDIVIA AD	52	-10	25	58	-28	19	52	-16	22	58	-28	19
15	CAÑAL BAJO, OSORNO AD	46	-10	22	58	-28	19	52	-16	22	58	-28	19
16	EL TEPUAL PUERTO MONTT, AP	46	-10	22	58	-28	19	46	-16	19	58	-28	19
17	CHAITEN AD	46	-10	22	52	-34	13	46	-16	19	52	-34	13
18	FUTALEUFU AD	46	-10	22	52	-34	13	52	-16	22	52	-34	13
19	ALTO PALENA AD	46	-10	22	52	-34	13	46	-16	19	52	-34	13
20	PUERTO AYSEN AD	46	-10	22	52	-34	13	46	-16	19	52	-34	13
21	TENIENTE VIDAL, COYHAIQUE AD	46	-16	19	52	-34	13	46	-22	16	52	-34	13
22	BALMACEDA AD	46	-22	16	52	-34	13	46	-34	10	52	-34	13
23	CHILE CHICO AD	46	-16	19	52	-34	13	52	-22	19	52	-34	13
24	LORD COCHRANE AD	46	-16	19	52	-34	13	46	-22	16	52	-34	13
25	CARLOS IBAÑEZ, PUNTA ARENAS AP	46	-22	16	52	-34	13	46	-28	13	52	-34	13
26	GUARDIA MARINA ZAÑARTU, PUERTO WILLIAMS AD	46	-16	19	52	-34	13	46	-22	16	52	-34	13
27	el buitre aeródromo	58	-10	28	58	-28	19	58	-10	28	58	-28	19
28	AZAPATA	58	-10	28	58	-28	19	58	-10	28	58	-28	19
29	CHUNGARA AJATA	46	-10	22	52	-34	13	46	-16	19	52	-34	13
30	CODPA	58	-10	28	58	-28	19	58	-10	28	58	-28	19
31	COYACAGUA	46	-16	19	52	-34	13	46	-22	16	52	-34	13
32	LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA)	46	-16	19	52	-34	13	46	-28	13	52	-34	13
33	CASPANA	46	-10	22	52	-34	13	46	-10	22	52	-34	13
34	CHIU-CHIU	52	-10	25	58	-28	19	52	-16	22	58	-28	19
35	CONCHI EMBALSE	52	-10	25	58	-28	19	52	-16	22	58	-28	19
36	LINZOR	46	-10	22	52	-34	13	46	-16	19	52	-34	13
37	PARSHALL N 2	46	-10	22	58	-28	19	46	-16	19	58	-28	19
38	PEINE	58	-10	28	58	-28	19	58	-10	28	58	-28	19
39	CANTO DE AGUA	58	-10	28	64	-22	25	58	-10	28	64	-22	25
40	LA COMPAÑÍA (VALLENAR)	58	-10	28	64	-22	25	58	-10	28	64	-22	25
41	LAUTARO EMBALSE	64	-10	31	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
42	LOS LOROS	64	-10	31	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
43	SAN FELIX	64	-10	31	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
44	SANTA JUANA	58	-10	28	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
45	CAREN	64	-10	31	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
46	COGOTI EMBALSE	58	-10	28	64	-22	25	58	-10	28	64	-22	25
47	EL TRAPICHE	52	-10	25	64	-22	25	58	-10	28	64	-22	25

Tabla 4-3:Grados de desempeño (PG)y ligante asignado para cada estación según el modelo basado en daño LTPP 3.1(continuación).

Estaciones		PG modelo de daño LTPP 3.1											
		50%						98%					
		PG Teórico			Ligante seleccionado			PG Teórico			Ligante seleccionado		
Número	Nombre	Alta	Baja	Intermedia	Alta	Baja	Intermedia	Alta	Baja	Intermedia	Alta	Baja	Intermedia
48	HURTADO	58	-10	28	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
49	ILLAPEL DGA	58	-10	28	64	-22	25	58	-10	28	64	-22	25
50	LA LAGUNA EMBALSE	46	-16	19	52	-34	13	46	-22	16	52	-34	13
51	LA ORTIGA	58	-10	28	64	-22	25	58	-10	28	64	-22	25
52	LA TRANQUILLA	58	-10	28	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
53	LAS RAMADAS	58	-10	28	64	-22	25	58	-10	28	64	-22	25
54	LOS CONDORES	58	-10	28	64	-22	25	58	-10	28	64	-22	25
55	PALOMA EMBALSE	64	-10	31	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
56	RECOLETA EMBALSE	58	-10	28	64	-22	25	58	-10	28	64	-22	25
57	RIVADAVIA	64	-10	31	64	-22	25	64	-16	28	64	-22	25
58	ALICAHUE	58	-10	28	64	-22	25	58	-10	28	64	-22	25
59	LAGO PEÑUELAS	52	-10	25	64	-22	25	52	-10	25	64	-22	25
60	LLIU-LLIU EMBALSE	58	-10	28	64	-22	25	58	-10	28	64	-22	25
61	LOS AROMOS	58	-10	28	64	-22	25	58	-10	28	64	-22	25
62	QUILLOTA	58	-10	28	64	-22	25	58	-10	28	64	-22	25
63	VILCUYA	58	-10	28	64	-22	25	64	-16	28	64	-22	25
64	CERRO CALAN	64	-10	31	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
65	EL YESO EMBALSE	46	-10	22	52	-34	13	46	-22	16	52	-34	13
66	LAGUNA ACULEO	64	-10	31	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
67	LOS PANGUILES	58	-10	28	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
68	MELIPILLA	58	-10	28	64	-22	25	58	-10	28	64	-22	25
69	PIRQUE	58	-10	28	64	-22	25	58	-16	25	64	-22	25
70	CONVENIO VIEJO	58	-10	28	64	-22	25	58	-10	28	64	-22	25
71	ANCOA EMBALSE	58	-10	28	64	-22	25	58	-10	28	64	-22	25
72	COLORADO	58	-10	28	64	-22	25	58	-16	25	64	-22	25
73	DIGUA EMBALSE	58	-10	28	64	-22	25	58	-16	25	64	-22	25
74	PARRAL	58	-10	28	64	-22	25	58	-10	28	64	-22	25
75	PENCAHUE	64	-10	31	64	-22	25	64	-10	31	64	-22	25
76	POTRERO GRANDE	58	-10	28	64	-22	25	58	-16	25	64	-22	25
77	TALCA UC	58	-10	28	64	-22	25	64	-16	28	64	-22	25
78	CARACOL	58	-10	28	64	-22	25	58	-10	28	64	-22	25
79	COIHUECO EMBALSE	58	-10	28	64	-22	25	58	-16	25	64	-22	25
80	DIGUILLIN	52	-10	25	58	-28	19	52	-10	25	58	-28	19
81	QUILACO	58	-10	28	58	-28	19	58	-16	25	58	-28	19
82	LIUCURA	52	-22	19	52	-34	13	52	-28	16	52	-34	13
83	LONQUIMAY	52	-22	19	52	-34	13	52	-28	16	52	-34	13
84	MALALCAHUELLO	46	-16	19	52	-34	13	46	-22	16	52	-34	13
85	PUCON	52	-10	25	58	-28	19	52	-10	25	58	-28	19
86	PUERTO SAAVEDRA	46	-10	22	58	-28	19	46	-10	22	58	-28	19
87	TEODORO SCHMITD	52	-10	25	58	-28	19	52	-10	25	58	-28	19
88	TRAIGUE	52	-10	25	58	-28	19	52	-16	22	58	-28	19
89	ADOLFO MATTHEI	52	-10	25	58	-28	19	52	-16	22	58	-28	19
90	COYHAIQUE(ESCUELA AGRICOLA)	46	-16	19	52	-34	13	46	-22	16	52	-34	13
91	PUERTO PUYUHUAPI	46	-10	22	52	-34	13	46	-16	19	52	-34	13
92	VILLA MAÑIHUALES	46	-16	19	52	-34	13	46	-22	16	52	-34	13
93	PUNTA ARENAS	46	-16	19	52	-34	13	46	-22	16	52	-34	13
94	TORRES DEL PAINE	46	-22	16	52	-34	13	46	-28	13	52	-34	13

Para la selección del ligante asfáltico de cada estación se buscó cumplir los siguientes criterios:

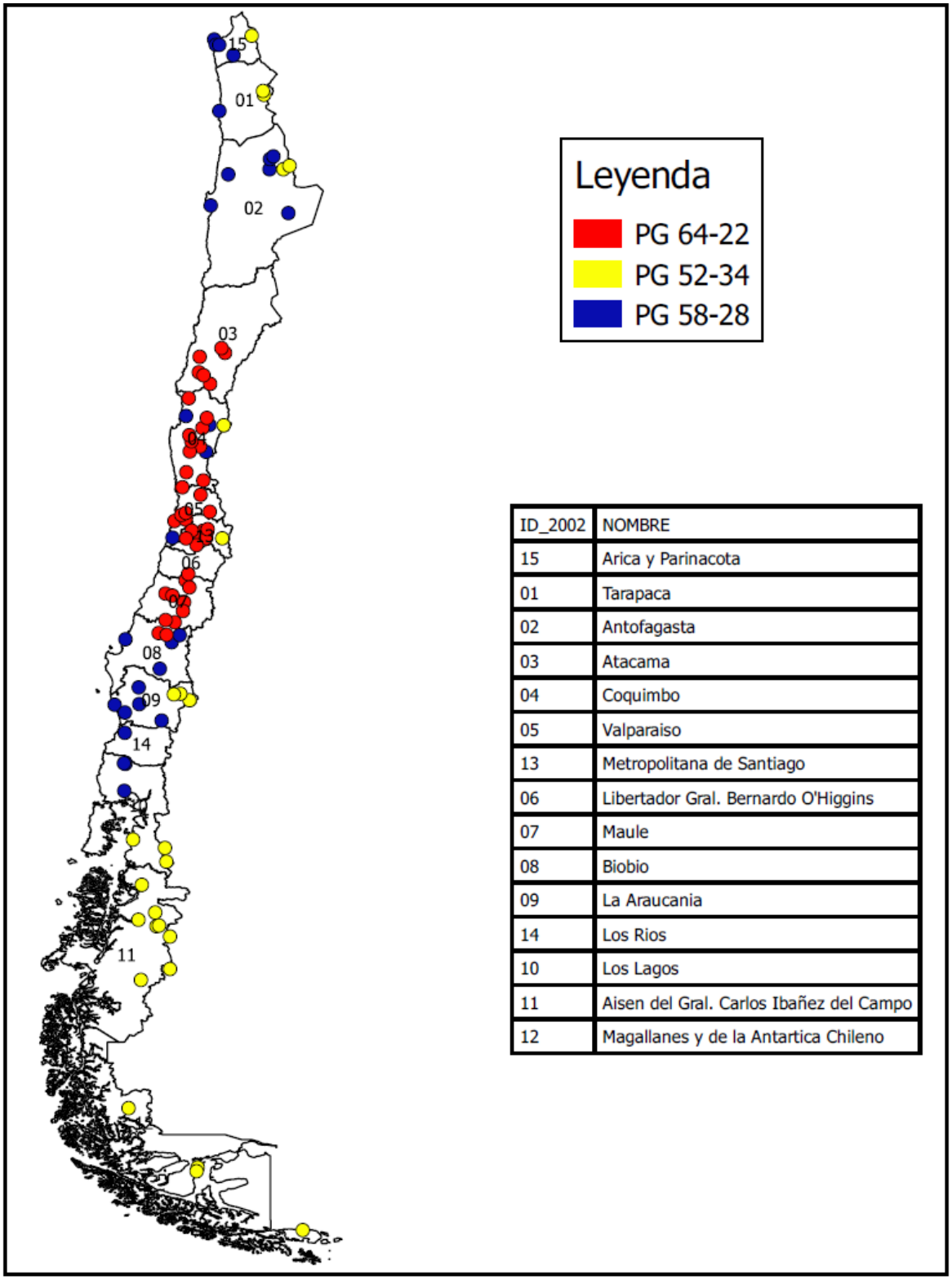
- Utilizar la menor cantidad de ligantes asfálticos posibles.
- No utilizar ligantes asfálticos modificados.
- Mantener cierta continuidad territorial para cada ligante.

Por lo cual algunas estaciones no cumplen algunos requisitos, las cuales se detallan a continuación:

- Balmaceda AD: Falla la temperatura intermedia para un 98% de confiabilidad.
- La Florida, La Serena AD: Falla la temperatura intermedia para un 50% y 98% de confiabilidad.
- Santo Domingo, AD: Falla la temperatura intermedia para un 50% y 98% de confiabilidad.

Cabe mencionar que existe más de una opción de ligante asfáltico por estación, pero el asignado en este trabajo, busca obtener cierta continuidad geográfica, con el fin de facilitar la implementación y utilización.

En la figura 4-1, se presenta la distribución espacial de los tres ligantes asfálticos utilizados.



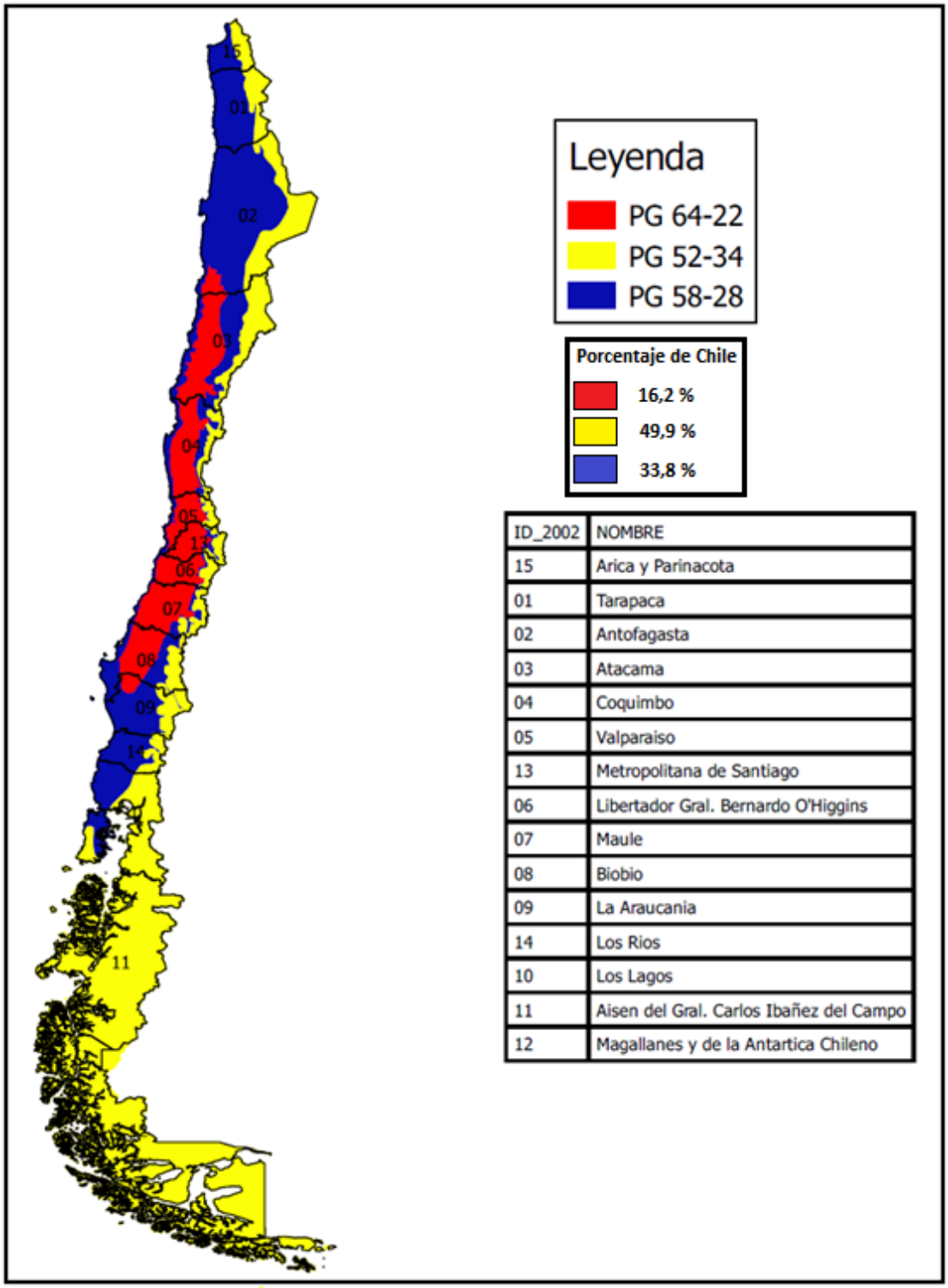
ID_2002	NOMBRE
15	Arica y Parinacota
01	Tarapaca
02	Antofagasta
03	Atacama
04	Coquimbo
05	Valparaiso
13	Metropolitana de Santiago
06	Libertador Gral. Bernardo O'Higgins
07	Maule
08	Biobio
09	La Araucania
14	Los Rios
10	Los Lagos
11	Aisen del Gral. Carlos Ibañez del Campo
12	Magallanes y de la Antartica Chileno

Figura 4- 1: Distribución espacial de los ligantes asfálticos a utilizar en la zonificación (PG52-34, PG58-28, PG64-22) para el modelo basado en daño LTPP 3.1, para un 98% de confiabilidad.

4.4 Mapa de zonificación de Chile

Una vez asignados los ligantes a cada estación, se procede a realizar la zonificación SUPERPAVE de Chile, en este caso se seguirá el procedimiento descrito en el punto 3.5 del presente trabajo.

Luego se calcula el área de influencia de cada estación, obteniendo el mapa de zonificación SUPERPAVE de Chile. Se buscó obtener un sólo mapa de zonificación, para las dos confiabilidades con el fin de facilitar la implementación y utilización. Para poder lograr esto, algunas estaciones no alcanzan el 98% de confiabilidad como fue descrito en el punto 4.3. Este mapa se aprecia en la figura 4-2.



*Balmaceda AD PG 52-34: Falla la temperatura intermedia para un 98% de confiabilidad.

***Mapa para condiciones de circulación de alta velocidad y volumen de tránsito bajo según el anexo C.**

Figura 4- 2: Zonificación SUPERPAVE para Chile utilizando el modelo basado en daño LTPP 3.1, para un 98% de confiabilidad.

4.5 Comparación de resultados con estudios de zonificación previos

4.5.1 Comparación de zonificaciones utilizando los modelos SHRP y el basado en daño LTPP 3.1

En la investigación "Development of SUPERPAVE High-Temperature Performance Grade Based on Rutting Damage" (Mohseni et al., 2005), la que da origen al modelo basado en daño (LTPP 3.1), se realiza una comparación con los grados de desempeño calculados por el método SHRP, esta comparación se realiza sobre un total de 7.412 estaciones como se aprecia en la tabla 4-4.

Tabla 4- 4: Relación entre los grados PG para alta temperatura utilizando el modelo SHRP y el basado en daño LTPP 3.1, en A. del Norte, con una confiabilidad del 98 %. Fuente: "Development of SUPERPAVE High-Temperature Performance Grade Based on Rutting Damage" (Mohseni et al., 2005).

	PG Modelo de daño LTPP 3.1 A. Norte							
PG SHRP A. Norte	40	46	52	58	64	70	76	Total
40	122	33	1					156
46	88	153	76					317
52	15	308	1137	74				1534
58		2	380	1919	566	20		2887
64				62	1574	701		2337
70					1	108	67	176
76							5	5
Total	225	496	1594	2055	2141	829	72	7412

De la tabla anterior se observa que el método SHRP entrega PG levemente mayores respecto a LTPP 3.1, hasta el PG 52, del PG 58 en adelante el modelo de daño LTPP 3.1 tiende a entregar PG superiores, cabe señalar que esta comparación se realiza considerando la lectura horizontal de la tabla 4-4. por ejemplo, de las 2.337 estaciones clasificadas como PG 64 por SHRP 1.574 (67 %) son clasificadas en el mismo grado por el modelo de daño LTPP 3.1, siendo 701 (30%) estaciones asignadas con un PG 70.

A continuación, se realizará una comparación entre los diferentes modelos utilizando los resultados de estaciones chilenas. No se posee una gran base de datos como en EEUU, pero servirá para cuantificar el comportamiento del modelo basado en daño LTPP 3.1 en Chile. Se utilizarán los PG calculados por Segovia usando el modelo SHRP (tabla 4-5). Todas las comparaciones se realizan para una confiabilidad de 98% y un ahuellamiento permitido de 12,5 [mm].

Tabla 4- 5: Relación entre los grados PG para alta temperatura utilizando los modelos SHRP (Segovia, 2015) y el basado en daño LTPP 3.1 en Chile, con una confiabilidad del 98 %.

	PG Modelo de daño LTPP 3.1 Chile						
PG SHRP Segovia	40	46	52	58	64	70	Total
40	0						0
46	0	5					5
52		7	0				7
58		14	11	19	5		49
64			6	14	13		33
70						0	0
Total	0	26	17	33	18	0	94

En las tablas anteriores, se aprecia que en Chile el modelo de daño LTPP 3.1 entrega PG menores que SHRP, lo cual es correcto hasta el PG 52. Para PG mayores o iguales a 58 el modelo no se comporta de la misma forma que en EEUU, ya que continúa arrojando PG menores al modelo SHRP. Por ejemplo, de las 33 estaciones asignadas con PG 64 por Segovia solo 13 (39 %) mantienen el mismo grado con el modelo de daño LTPP 3.1, a las otras 20 (61 %) se le asigna un PG menor, lo anterior se explica porque en Chile durante los 6 meses calurosos las temperaturas no son tan elevadas, a excepción de algunos máximos cercanos al verano, esto se refleja en el parámetro grados-días sobre 10°C que para Chile, en general es bajo. Para demostrar lo anterior, se compararán estaciones de EEUU y Chile, las cuales tienen diferente grado PG, dependiendo de con qué método se calculen. En la tabla 4-6, se aprecia los resultados para la estación Apalachicola, Florida, EEUU y de Osorno, Chile.

Tabla 4- 6: Comparación de parámetros y grados de desempeño entre Appachicola, EEUU y Osorno, Chile.

Estación	Grado de alta temperatura		Temperatura aire SHRP [°C]	PG teórico SHRP	DD	PG teórico modelo de daño LTPP 3.1
	Modelo SHRP	Modelo LTPP 3.1				
Appachicola EEUU	58	64	33,6	57,2	3707	62,55
Osorno	58	52	31,1	57,5	1830	47,68

En Apalachicola, la temperatura máxima diaria es superior a los 30°C, durante por lo menos el 70% del periodo caluroso, lo que no ocurre en Osorno, donde se posee temperaturas bastantes menores, pero se tienen máximos considerables en verano lo cual le otorga un PG según SHRP alto y muy parecido a la estación de EEUU. La diferencia ocurre en el modelo de daño LTPP 3.1, donde el parámetro grados-días sobre 10°C de Apalachicola es mayor al de Osorno, por ende, su PG es bastante mayor. Esta diferencia de PG, se debe a que en Chile las altas temperaturas no se presentan durante los 6 meses del periodo caluroso, ante esto, el fenómeno de ahuellamiento no se debería presentar de manera tan significativa como lo haría en EEUU. Todo lo anterior se puede apreciar en la figura 4-3, en ella se grafica el periodo caluroso para las dos estaciones.

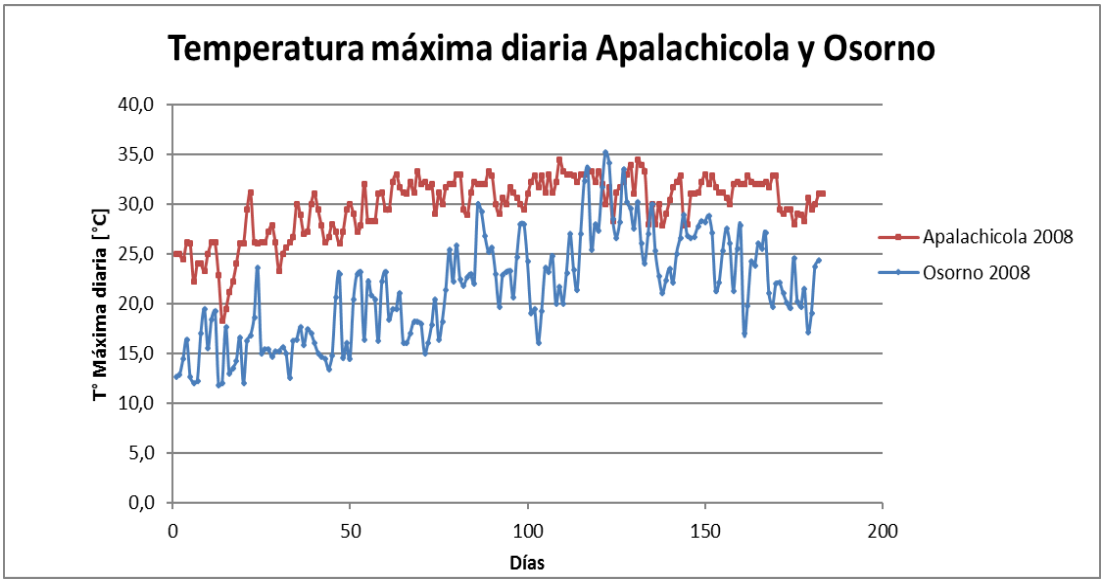


Figura 4- 3: Gráfico para el año 2008 de temperaturas máximas diarias de los 6 meses más calurosos; estación de Osorno y Apalachicola.

Según los resultados del modelo basado en daño LTPP 3.1, las estaciones chilenas no requieren ligantes tan rígidos a altas temperaturas.

Se realizó el proceso anterior con otra estación para verificar lo planteado (tabla 4-7 y figura 4-4).

Tabla 4- 7: Comparación de parámetros y grados de desempeño entre Lakeland, EEUU y Pucón, Chile.

Estación	Grado de alta temperatura		Temperatura aire SHRP [°C]	PG teórico SHRP	DD	PG teórico modelo de daño LTPP 3.1
	Modelo SHRP	Modelo LTPP 3.1				
Lakeland,Florida	64	70	34,9	59,4	4263	65,9
Pucón	64	52	32,6	61,3	2000	49,25

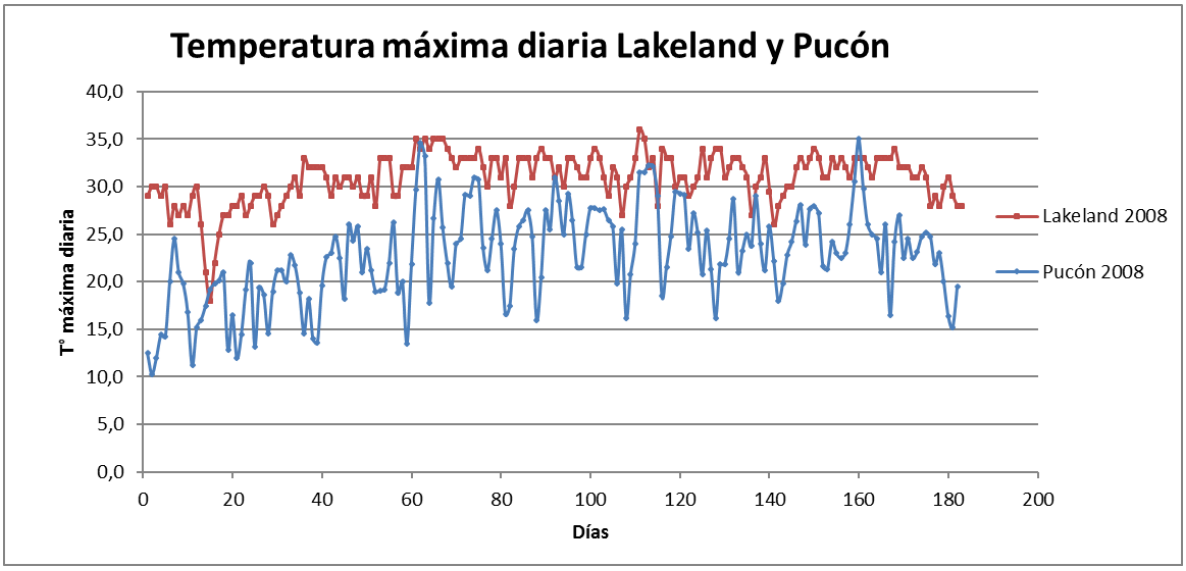


Figura 4- 4: Grafico para el año 2008 de temperaturas máximas diarias de los 6 meses más calurosos; estación de Pucón y Lakeland.

El método de daño LTPP 3.1 logra su objetivo, el cual es asignar ligantes más rígidos a zonas donde el periodo de altas temperaturas es más extenso, por ejemplo, el sur de EEUU. En Chile las estaciones climáticas son bien marcadas, es decir que el periodo de altas temperaturas se mantiene cercano a los meses de verano, por ende, no serían tan extensos, lo anterior se ve reflejados en los PG entregados por el modelo de daño LTPP 3.1, que son más bajos que los modelos SHRP.

Comparando los mapas de zonificación realizados, éstos concuerdan con los resultados mostrados anteriormente. En general con el modelo de daño LTPP 3.1 se obtienen ligantes más blandos a altas temperaturas. Entrando en mayor detalle, si aplicamos los ligantes utilizados en el presente estudio (modelo de daño LTPP 3.1) a los PG teóricos calculados por Segovia para una confiablidad de un 50%, fallarían Balmaceda AD, Lonquimay, Liucura y Laguna Embalse.

Realizando el mismo procedimiento anterior, para una confiabilidad de 98%, encontraríamos 23 estaciones que no cumplirían el grado de alta temperatura, las cuales se ubican en el sector cordillerano de la zona Norte, Centro y Sur, además de Temuco, Valdivia y todas las estaciones en la XI región.

4.5.2 Comparación de zonificaciones utilizando los modelos LTPP 2.1 y el basado en daño LTPP 3.1

El comportamiento de los grados de desempeño es similar al observado en el punto anterior, es decir, en Chile el modelo de daño LTPP 3.1 entrega PG menores que el modelo LTPP 2.1, para el grado de alta temperatura, por las razones explicadas anteriormente. A continuación, se comparará los grados de desempeño utilizando los dos modelos (tabla 4-8).

Tabla 4- 8: Relación entre los grados PG para alta temperatura utilizando los modelos LTPP 2.1 y el basado en daño LTPP 3.1 en Chile, con una confiabilidad del 98 %.

	PG Modelo de daño LTPP 3.1 Chile						
PG LTPP 2.1	40	46	52	58	64	70	Total
40	0						0
46		1					1
52		6	0				6
58		19	12	10			41
64			5	23	18		46
70						0	0
Total	0	26	17	33	18	0	94

Se observa un comportamiento parecido a SHRP, es decir, que en todas las estaciones se obtienen grados PG iguales o inferiores al modelo LTPP 2.1.

Comparando los mapas de zonificación, lógicamente el modelo de daño LTPP 3.1 recomienda ligantes más blandos para gran parte de Chile. Si realizamos el procedimiento de asignar los ligantes calculados en este capítulo a los PG teóricos LTPP 2.1, obtendríamos para un 98% de confiabilidad un total de 27 estaciones fallando, las cuales se ubican en el sector cordillerano de la zona Norte, Centro y Sur, además de Arica, Azapata, El Buitre AD, Temuco y todas las estaciones en la XI región. Para un 50% de confiabilidad todos los ligantes asignados cumplen los requisitos.

5.ANÁLISIS DE METODOLOGÍAS DE ZONIFICACIÓN

Finalizados los capítulos anteriores, se pudo obtener dos zonificaciones SUPERPAVE para el territorio chileno, las cuales se unen a la ya obtenida por Segovia (2015), ante esto se buscará consolidar los diferentes resultados en un solo mapa, que pueda abarcar y ser coherente para los diferentes modelos.

5.1 Comparación entre diferentes métodos de zonificación

Dependiendo del modelo que se utilice, las estaciones requerirán diferente grado de desempeño por parte del ligante asfáltico. No existe un procedimiento para unificar los PG proveniente de los tres métodos, es por ello que se buscará un ligante asfáltico tradicional, que pueda cumplir con los requisitos de los 3 algoritmos.

El ligante asfáltico para cada estación se elegirá según los siguientes criterios:

- Utilizar la menor cantidad de ligantes asfálticos posibles.
- No utilizar ligantes asfálticos modificados.
- Mantener cierta continuidad territorial para cada ligante.
- Obtener mapas de zonificación iguales para las dos confiabilidades utilizadas.
- Cumplir con los requisitos (temperatura alta, baja e intermedia) para los tres modelos.
    - Si en una estación ningún ligante cumple con los requisitos para los tres modelos, se privilegia que el ligante cumpla para el modelo SHRP o LTPP 3.1, pudiendo fallar para el modelo LTPP 2.1.

A continuación, se presenta un cuadro comparativo, en el que se muestran los ligantes que se le pueden asignar a cada estación, según los diferentes métodos, además de mostrar el ligante asignado para la zonificación final. En la tabla 5-1 y 5-2, se aprecia lo anterior para una confiabilidad de un 50% y 98% respectivamente.

Tabla 5- 1: Ligantes asfálticos que cumplen los requisitos para cada modelo, además el ligante seleccionado para cada estación. Confiabilidad de 50%.

		Clasificación 50 % de confiabilidad												
Estación	**Nombre**	**LIGANTES TRADICIONALES QUE CUMPLEN LOS REQUERIMIENTOS DEL MODELO SHRP**			**LIGANTES TRADICIONALES QUE CUMPLEN LOS REQUERIMIENTOS DEL MODELO LTPP 2.1**			**LIGANTES TRADICIONALES QUE CUMPLEN LOS REQUERIMIENTOS DEL MODELO DE DAÑO LTPP 3.1**			**Ligantes tradicionales que coinciden para los diferentes modelos.**			**Asignado**
1	CHACALLUTA, ARICA AEROPUERTO		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
2	DIEGO ARACENA IQUIQUE AP		58-28	64-22	52-34	58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	58-28
3	EL LOA, CALAMA AD	52-34	58-28		52-34	58-28	64-22		58-28	64-22		58-28		58-28
4	CERRO MORENO ANTOFAGASTA AP	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28	64-22	58-28
5	LA FLORIDA, LA SERENA AD	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28		52-34	58-28		58-28
6	SANTO DOMINGO, AD	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28		52-34	58-28		52-34	58-28		58-28
7	QUINTA NORMAL, SANTIAGO		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
8	EULOGIO SANCHEZ, TOBALABA AD		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
9	PUDAHUEL SANTIAGO		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
10	GENERAL FREIRE, CURICO AD		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
11	BERNARDO O'HIGGINS, CHILLAN AD		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
12	CARRIEL SUR, CONCEPCION	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28	64-22	58-28
13	MANQUEHUE, TEMUCO AD		58-28	64-22	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
14	PICHOY, VALDIVIA AD	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28	64-22	58-28
15	CAÑAL BAJO, OSORNO AD	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28		52-34	58-28		58-28
16	EL TEPUAL PUERTO MONTT, AP	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28		52-34	58-28		52-34	58-28		58-28
17	CHAITEN AD	52-34	58-28		52-34	58-28		52-34	58-28		52-34	58-28		58-28
18	FUTALEUFU AD	52-34	58-28		52-34	58-28	64-22	52-34	58-28		52-34	58-28		58-28
19	ALTO PALENA AD	52-34	58-28		52-34	58-28	64-22	52-34	58-28		52-34	58-28		58-28
20	PUERTO AYSEN AD	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28		52-34	58-28		52-34	58-28		58-28
21	TENIENTE VIDAL, COYHAIQUE AD	52-34	58-28		52-34	58-28		52-34	58-28		52-34	58-28		58-28
22	BALMACEDA AD	52-34			52-34	58-28		52-34			52-34			52-34
23	CHILE CHICO AD	52-34	58-28		52-34	58-28		52-34	58-28		52-34	58-28		58-28
24	LORD COCHRANE AD	52-34	58-28		52-34	58-28		52-34	58-28		52-34	58-28		58-28
25	CARLOS IBAÑEZ, PUNTA ARENAS AP	52-34			52-34			52-34			52-34			52-34
26	GUARDIA MARINA ZAÑARTU, PUERTO WILLIAMS AD	52-34	58-28		52-34	58-28		52-34	58-28		52-34	58-28		52-34
27	el buitre aeródromo		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
28	AZAPATA		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
29	CHUNGARA AJATA	52-34	58-28		52-34	58-28		52-34	58-28		52-34	58-28		52-34
30	CODPA	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	58-28
31	COYACAGUA	52-34			52-34	58-28		52-34	58-28		52-34			52-34
32	LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA)	52-34			52-34	58-28		52-34	58-28		52-34			52-34
33	CASPANA	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28		52-34	58-28		58-28
34	CHIU-CHIU	52-34	58-28		52-34	58-28	64-22	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28		58-28
35	CONCHI EMBALSE	52-34	58-28		52-34	58-28	64-22	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28		58-28
36	LINZOR	52-34			52-34	58-28		52-34	58-28		52-34			52-34
37	PARSHALL N 2	52-34	58-28		52-34	58-28	64-22	52-34	58-28		52-34	58-28		58-28
38	PEINE		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
39	CANTO DE AGUA		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
40	LA COMPAÑÍA (VALLENAR)		58-28	64-22	52-34	58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
41	LAUTARO EMBALSE		58-28	64-22		58-28	64-22			64-22			64-22	64-22
42	LOS LOROS		58-28	64-22		58-28	64-22			64-22			64-22	64-22
43	SAN FELIX			64-22		58-28	64-22			64-22			64-22	64-22
44	SANTA JUANA		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
45	CAREN		58-28	64-22		58-28	64-22			64-22			64-22	64-22
46	COGOTI EMBALSE		58-28	64-22	52-34	58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
47	EL TRAPICHE		58-28	64-22	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28	64-22		58-28	64-22	64-22

Tabla 5- 1: Ligantes asfálticos que cumplen los requisitos para cada modelo, además el ligante seleccionado para cada estación. Confiabilidad de 50% (continuación).

Estación	Nombre	LIGANTES TRADICIONALES QUE CUMPLEN LOS REQUERIMIENTOS DEL MODELO SHRP			LIGANTES TRADICIONALES QUE CUMPLEN LOS REQUERIMIENTOS DEL MODELO LTPP 2.1			LIGANTES TRADICIONALES QUE CUMPLEN LOS REQUERIMIENTOS DEL MODELO DE DAÑO LTPP 3.1			Ligantes tradicionales que coinciden para los diferentes modelos.			Asignado
48	HURTADO		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
49	ILLAPEL DGA		58-28	64-22	52-34	58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
50	LA LAGUNA EMBALSE		58-28		52-34	58-28		52-34	58-28			58-28		58-28
51	LA ORTIGA		58-28	64-22	52-34	58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
52	LA TRANQUILLA		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
53	LAS RAMADAS		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
54	LOS CONDORES		58-28	64-22	52-34	58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
55	PALOMA EMBALSE		58-28	64-22		58-28	64-22			64-22			64-22	64-22
56	RECOLETA EMBALSE		58-28	64-22	52-34	58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
57	RIVADAVIA		58-28	64-22		58-28	64-22			64-22			64-22	64-22
58	ALICAHUE		58-28	64-22	52-34	58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
59	LAGO PEÑUELAS	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28	64-22	64-22
60	LLIU-LLIU EMBALSE		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
61	LOS AROMOS		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
62	QUILLOTA		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
63	VILCUYA		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
64	CERRO CALAN		58-28	64-22		58-28	64-22			64-22			64-22	64-22
65	EL YESO EMBALSE	52-34	58-28		52-34	58-28	64-22	52-34	58-28		52-34	58-28		52-34
66	LAGUNA ACULEO		58-28	64-22		58-28	64-22			64-22			64-22	64-22
67	LOS PANGUILES		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
68	MELIPILLA		58-28	64-22	52-34	58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
69	PIRQUE		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
70	CONVENIO VIEJO		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
71	ANCOA EMBALSE		58-28	64-22	52-34	58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
72	COLORADO		58-28	64-22	52-34	58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
73	DIGUA EMBALSE		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
74	PARRAL		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
75	PENCAHUE			64-22		58-28	64-22			64-22			64-22	64-22
76	POTRERO GRANDE		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
77	TALCA UC		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
78	CARACOL		58-28	64-22	52-34	58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
79	COIHUECO EMBALSE			64-22		58-28	64-22		58-28	64-22			64-22	64-22
80	DIGUILLIN		58-28	64-22	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
81	QUILACO		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
82	LIUCURA					58-28		52-34	58-28			58-28		58-28
83	LONQUIMAY		58-28			58-28		52-34	58-28			58-28		58-28
84	MALALCAHUELLO	52-34	58-28		52-34	58-28		52-34	58-28		52-34	58-28		58-28
85	PUCON		58-28	64-22	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
86	PUERTO SAAVEDRA	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28		52-34	58-28		58-28
87	TEODORO SCHMITD	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28	64-22	58-28
88	TRAIGUE		58-28	64-22	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
89	ADOLFO MATTHEI	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28	64-22	58-28
90	COYHAIQUE(ESCUELA AGRICOLA)	52-34	58-28		52-34	58-28		52-34	58-28		52-34	58-28		58-28
91	PUERTO PUYUHUAPI	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28	64-22	52-34	58-28		52-34	58-28		58-28
92	VILLA MAÑIHUALES	52-34	58-28		52-34	58-28		52-34	58-28		52-34	58-28		58-28
93	PUNTA ARENAS	52-34	58-28		52-34	58-28		52-34	58-28		52-34	58-28		52-34
94	TORRES DEL PAINE	52-34			52-34			52-34			52-34			52-34

**Cuadro marcado en azul: ligante asfáltico cumple los requisitos para los tres modelos.*

**Cuadro marcado en rojo: ligante asfáltico cumple los requisitos para dos modelos.*

Tabla 5- 2: Ligantes asfálticos que cumplen los requisitos para cada modelo, además el ligante seleccionado para cada estación. Confiabilidad de 98%.

		Clasificación 98 % de confiabilidad												
Estación	**Nombre**	**LIGANTES TRADICIONALES QUE CUMPLEN LOS REQUERIMIENTOS DEL MODELO SHRP**			**LIGANTES TRADICIONALES QUE CUMPLEN LOS REQUERIMIENTOS DEL MODELO LTPP 2.1**			**LIGANTES TRADICIONALES QUE CUMPLEN LOS REQUERIMIENTOS DEL MODELO DE DAÑO LTPP 3.1**			**Ligantes tradicionales que coinciden para los diferentes modelos.**			**Asignado**
1	CHACALLUTA, ARICA AEROPUERTO		58-28	64-22			64-22		58-28	64-22			64-22	64-22
2	DIEGO ARACENA IQUIQUE AP		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	58-28
3	EL LOA, CALAMA AD		58-28			58-28	64-22		58-28	64-22		58-28		58-28
4	CERRO MORENO ANTOFAGASTA AP		58-28	64-22		58-28	64-22	52-34	58-28	64-22		58-28	64-22	58-28
5	LA FLORIDA, LA SERENA AD	52-34	58-28	64-22		58-28	64-22	52-34	58-28			58-28		58-28
6	SANTO DOMINGO, AD		58-28	64-22		58-28	64-22	52-34	58-28			58-28		58-28
7	QUINTA NORMAL, SANTIAGO			64-22			64-22			64-22			64-22	64-22
8	EULOGIO SANCHEZ, TOBALABA AD			64-22			64-22			64-22			64-22	64-22
9	PUDAHUEL SANTIAGO			64-22			64-22			64-22			64-22	64-22
10	GENERAL FREIRE, CURICO AD			64-22			64-22		58-28	64-22			64-22	64-22
11	BERNARDO O'HIGGINS, CHILLAN AD			64-22			64-22		58-28	64-22			64-22	64-22
12	CARRIEL SUR, CONCEPCION		58-28	64-22		58-28	64-22	52-34	58-28	64-22		58-28	64-22	58-28
13	MANQUEHUE, TEMUCO AD			64-22			64-22	52-34	58-28				64-22	64-22
14	PICHOY, VALDIVIA AD			64-22		58-28	64-22	52-34	58-28			58-28	64-22	58-28
15	CAÑAL BAJO, OSORNO AD		58-28			58-28	64-22	52-34	58-28			58-28		58-28
16	EL TEPUAL PUERTO MONTT, AP		58-28	64-22		58-28	64-22	52-34	58-28			58-28		58-28
17	CHAITEN AD		58-28	64-22		58-28	64-22	52-34	58-28			58-28		58-28
18	FUTALEUFU AD		58-28			58-28	64-22	52-34	58-28			58-28		58-28
19	ALTO PALENA AD		58-28			58-28	64-22	52-34	58-28			58-28		58-28
20	PUERTO AYSEN AD		58-28	64-22		58-28	64-22	52-34	58-28			58-28		58-28
21	TENIENTE VIDAL, COYHAIQUE AD		58-28			58-28		52-34				58-28		58-28
22	BALMACEDA AD													52-34
23	CHILE CHICO AD		58-28			58-28		52-34	58-28			58-28		58-28
24	LORD COCHRANE AD		58-28			58-28		52-34				58-28		58-28
25	CARLOS IBAÑEZ, PUNTA ARENAS AP	52-34			52-34			52-34			52-34			52-34
26	GUARDIA MARINA ZAÑARTU, PUERTO WILLIAMS AD	52-34			52-34			52-34			52-34			52-34
27	el buitre aeródromo		58-28	64-22			64-22		58-28	64-22			64-22	64-22
28	AZAPATA		58-28	64-22			64-22		58-28	64-22			64-22	64-22
29	CHUNGARA AJATA	52-34			52-34	58-28		52-34	58-28		52-34			52-34
30	CODPA		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	58-28
31	COYACAGUA	52-34				58-28		52-34			52-34			52-34
32	LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA)				52-34			52-34			52-34			52-34
33	CASPANA		58-28	64-22		58-28	64-22	52-34	58-28			58-28		58-28
34	CHIU-CHIU		58-28			58-28	64-22	52-34	58-28			58-28		58-28
35	CONCHI EMBALSE		58-28			58-28	64-22	52-34	58-28			58-28		58-28
36	LINZOR	52-34			52-34	58-28		52-34	58-28		52-34			52-34
37	PARSHALL N 2	52-34	58-28			58-28	64-22	52-34	58-28			58-28		58-28
38	PEINE			64-22			64-22		58-28	64-22			64-22	64-22
39	CANTO DE AGUA			64-22			64-22		58-28	64-22			64-22	64-22
40	LA COMPAÑÍA (VALLENAR)		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
41	LAUTARO EMBALSE			64-22			64-22			64-22			64-22	64-22
42	LOS LOROS			64-22			64-22			64-22			64-22	64-22
43	SAN FELIX			64-22			64-22			64-22			64-22	64-22
44	SANTA JUANA		58-28	64-22			64-22			64-22			64-22	64-22
45	CAREN			64-22			64-22			64-22			64-22	64-22
46	COGOTI EMBALSE			64-22			64-22		58-28	64-22			64-22	64-22
47	EL TRAPICHE		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22

Tabla 5- 2: Ligantes asfálticos que cumplen los requisitos para cada modelo, además el ligante seleccionado para cada estación. Confiabilidad de 98% (continuación).

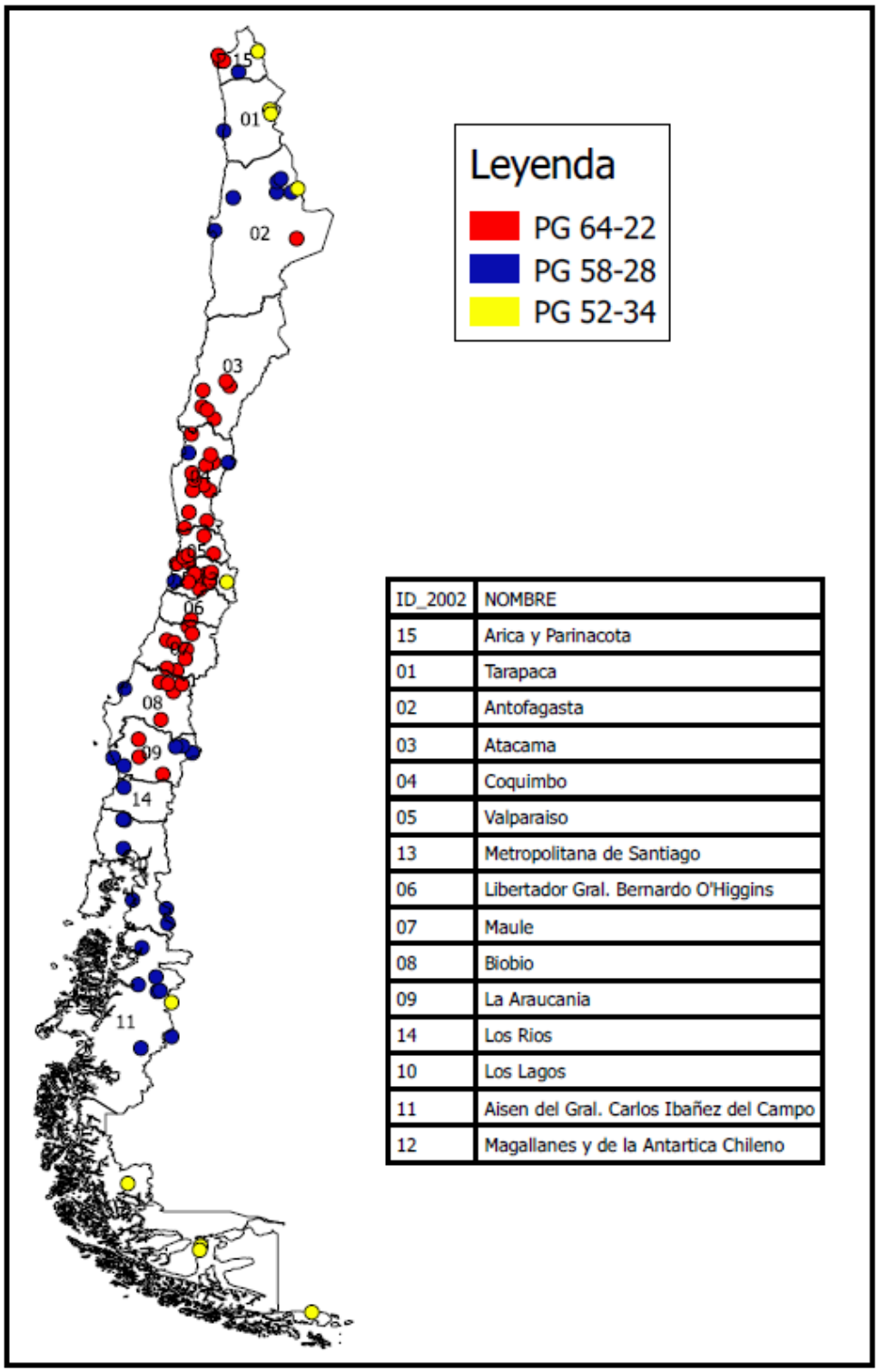
		Clasificación 98 % de confiabilidad												
Estación	Nombre	LIGANTES TRADICIONALES QUE CUMPLEN LOS REQUERIMIENTOS DEL MODELO SHRP			LIGANTES TRADICIONALES QUE CUMPLEN LOS REQUERIMIENTOS DEL MODELO LTPP 2.1			LIGANTES TRADICIONALES QUE CUMPLEN LOS REQUERIMIENTOS DEL MODELO DE DAÑO LTPP 3.1			Ligantes tradicionales que coinciden para los diferentes modelos.			Asignado
48	HURTADO		58-28	64-22			64-22			64-22			64-22	64-22
49	ILLAPEL DGA		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
50	LA LAGUNA EMBALSE		58-28			58-28		52-34				58-28		58-28
51	LA ORTIGA		58-28	64-22			64-22		58-28	64-22			64-22	64-22
52	LA TRANQUILLA		58-28	64-22			64-22			64-22			64-22	64-22
53	LAS RAMADAS			64-22			64-22		58-28	64-22			64-22	64-22
54	LOS CONDORES			64-22			64-22		58-28	64-22			64-22	64-22
55	PALOMA EMBALSE		58-28	64-22			64-22			64-22			64-22	64-22
56	RECOLETA EMBALSE		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
57	RIVADAVIA			64-22			64-22			64-22			64-22	64-22
58	ALICAHUE		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
59	LAGO PEÑUELAS		58-28	64-22		58-28	64-22	52-34	58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
60	LLIU-LLIU EMBALSE			64-22			64-22		58-28	64-22			64-22	64-22
61	LOS AROMOS		58-28	64-22			64-22		58-28	64-22			64-22	64-22
62	QUILLOTA			64-22			64-22		58-28	64-22			64-22	64-22
63	VILCUYA			64-22			64-22			64-22			64-22	64-22
64	CERRO CALAN			64-22			64-22			64-22			64-22	64-22
65	EL YESO EMBALSE	52-34				58-28		52-34			52-34			52-34
66	LAGUNA ACULEO		58-28	64-22			64-22			64-22			64-22	64-22
67	LOS PANGUILES			64-22			64-22			64-22			64-22	64-22
68	MELIPILLA			64-22			64-22		58-28	64-22			64-22	64-22
69	PIRQUE		58-28	64-22			64-22		58-28	64-22			64-22	64-22
70	CONVENIO VIEJO		58-28	64-22			64-22		58-28	64-22			64-22	64-22
71	ANCOA EMBALSE		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
72	COLORADO		58-28	64-22			64-22		58-28	64-22			64-22	64-22
73	DIGUA EMBALSE			64-22			64-22		58-28	64-22			64-22	64-22
74	PARRAL			64-22			64-22		58-28	64-22			64-22	64-22
75	PENCAHUE			64-22			64-22			64-22			64-22	64-22
76	POTRERO GRANDE		58-28	64-22			64-22		58-28	64-22			64-22	64-22
77	TALCA UC			64-22			64-22			64-22			64-22	64-22
78	CARACOL		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
79	COIHUECO EMBALSE			64-22			64-22		58-28	64-22			64-22	64-22
80	DIGUILLIN		58-28	64-22		58-28	64-22	52-34	58-28	64-22		58-28	64-22	64-22
81	QUILACO			64-22			64-22		58-28	64-22			64-22	64-22
82	LIUCURA							52-34						58-28
83	LONQUIMAY							52-34						58-28
84	MALALCAHUELLO		58-28			58-28		52-34				58-28		58-28
85	PUCON			64-22			64-22	52-34	58-28	64-22			64-22	64-22
86	PUERTO SAAVEDRA	52-34	58-28			58-28	64-22	52-34	58-28			58-28		58-28
87	TEODORO SCHMITD		58-28	64-22		58-28	64-22	52-34	58-28	64-22		58-28	64-22	58-28
88	TRAIGUE			64-22			64-22	52-34	58-28				64-22	64-22
89	ADOLFO MATTHEI		58-28	64-22		58-28	64-22	52-34	58-28			58-28		58-28
90	COYHAIQUE(ESCUELA AGRICOLA)		58-28			58-28		52-34				58-28		58-28
91	PUERTO PUYUHUAPI		58-28	64-22		58-28	64-22	52-34	58-28			58-28		58-28
92	VILLA MAÑIHUALES		58-28			58-28		52-34				58-28		58-28
93	PUNTA ARENAS	52-34			52-34	58-28		52-34			52-34			52-34
94	TORRES DEL PAINE	52-34			52-34			52-34			52-34			52-34

**Cuadro marcado en azul: ligante asfáltico cumple los requisitos para los tres modelos.*
**Cuadro marcado en rojo: ligante asfáltico cumple los requisitos para dos modelos.*
**Liucura y Lonquimay son casos especiales donde se le asigna un ligante PG 58-28, el cual puede ser modificado, aumentando su grado de alta temperatura y con ello cumplir los requerimientos.*
**Balmaceda es un caso especial en el cual se le asigna un PG 52-34, el cual puede ser modificado, aumentando su grado de alta temperatura y con ello cumplir los requerimientos.*

5.2 Compatibilización de metodología de zonificación aplicadas.

Una vez seleccionados los ligantes asfálticos para cada una de las estaciones, se procede a ingresarlo al programa QGIS, para facilitar la generación del mapa de zonificación.

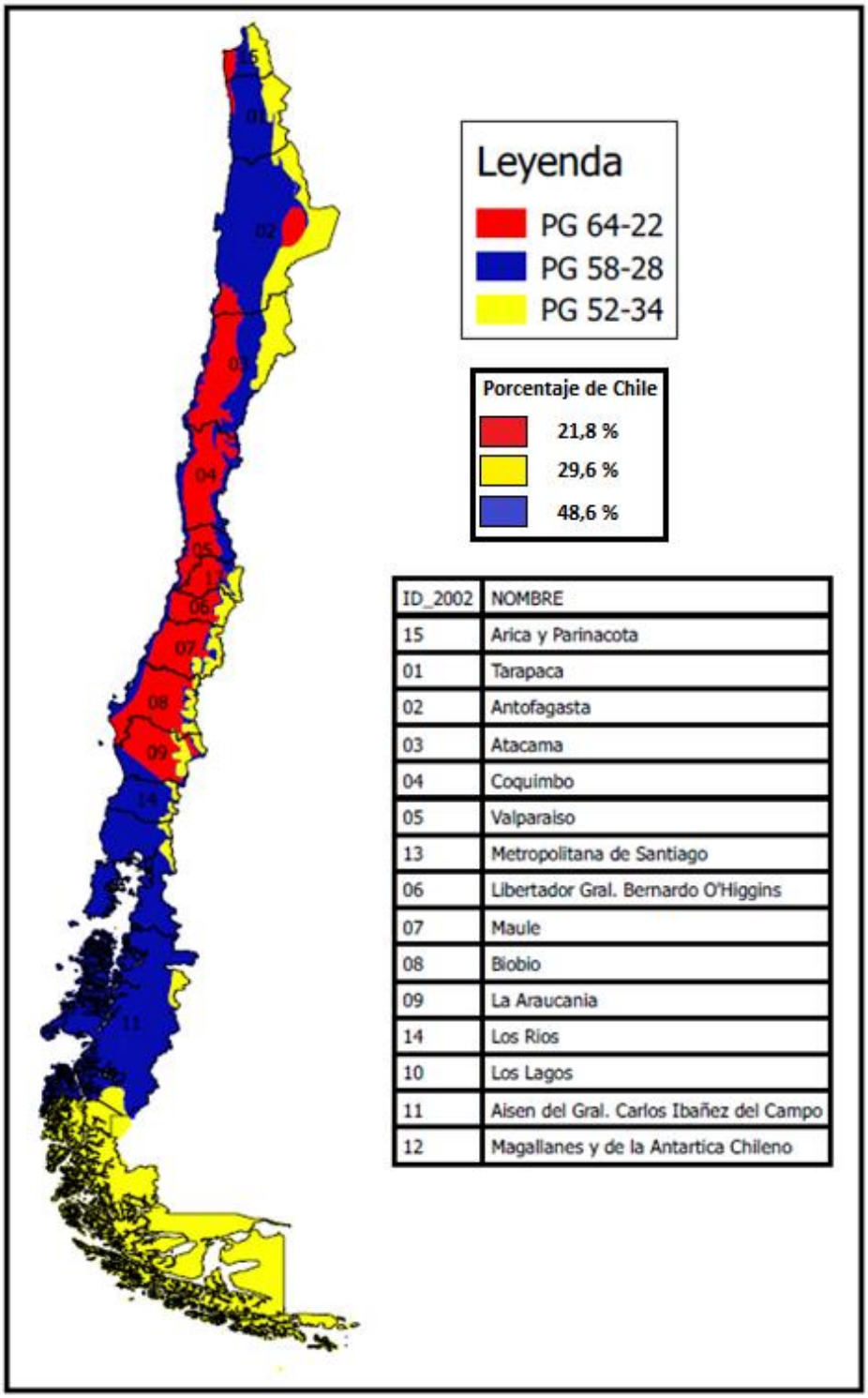
En la figura 5-1, se presenta la distribución espacial de los tres ligantes asfálticos utilizados.



ID_2002	NOMBRE
15	Arica y Parinacota
01	Tarapaca
02	Antofagasta
03	Atacama
04	Coquimbo
05	Valparaiso
13	Metropolitana de Santiago
06	Libertador Gral. Bernardo O'Higgins
07	Maule
08	Biobio
09	La Araucania
14	Los Rios
10	Los Lagos
11	Aisen del Gral. Carlos Ibañez del Campo
12	Magallanes y de la Antartica Chileno

Figura 5- 1: Distribución espacial de los ligantes asfálticos a utilizar en la zonificación (PG52-34, PG58-28, PG64-22), para la compatibilización de los tres métodos de cálculo de PG (SHRP, LTPP 2.1 y el basado en daño LTPP 3.1)

En la figura 5-2 se presenta el mapa de zonificación surgido de la compatibilización de los modelos SHRP, LTPP 2.1 y el basado en daño LTPP 3.1.



***Mapa para condiciones de circulación de alta velocidad y volumen de tránsito bajo según el anexo C.**

Figura 5- 2: Zonificación SUPERPAVE para Chile realizando la compatibilización de los tres métodos de cálculo de PG (SHRP, LTPP 2.1 y el basado en daño LTPP 3.1), para un 98% de confiabilidad.

6. INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS ESTACIONES EN ESTUDIO

La variable principal en las zonificaciones SUPERPAVE realizadas en los capítulos anteriores era la temperatura del aire, por lo que analizar lo que le sucede, durante un periodo posterior a la realización de la zonificación resulta de suma importancia, ante esto, se cuantificará el cambio de la temperatura del aire durante un cierto periodo de tiempo. Cabe señalar, que este cambio de temperatura provocará modificaciones en los grados de desempeño, para los 3 modelos en estudio, el que se deberá analizar en profundidad. Lo anterior surge ante la problemática del cambio climático, el cual aumenta la temperatura del planeta en cifras considerables.

Para cuantificar el cambio de la temperatura del planeta, se utilizará información de una investigación realizada por la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) en el año 2014, la cual modela el clima futuro para todo el territorio nacional en el periodo 2030-2059. Esta modelación se realiza en base a dos escenarios posibles el RCP 2.6 y RCP 8.5 (más optimista y más pesimista con respecto a la disminución de emisión de gases efecto invernadero, respectivamente), utilizando los modelos climáticos MIROC5 y WRF. Además, la DMC realiza una simulación hacia el pasado, más específicamente al periodo 1970-1999, esta simulación se denomina “HINDCAST” y se utiliza para comprobar la exactitud de los modelos.

Una vez finalizado el análisis anterior, se podrá diagnosticar que zonas de Chile se verían afectadas por el cambio climático, todo esto en el ámbito de zonificación SUPERPAVE.

6.1 Método para cuantificar el cambio climático

Como fue mencionado anteriormente, se utilizará información proveniente de la modelación climática realizada por la DMC, la cual proyecta la temperatura extrema diaria en el periodo 2030-2059 para todo el territorio nacional, con esto se podrá tener una estadística de 20 años, para cada una de las 94 estaciones en estudio. Luego se buscará obtener los diferentes grados de desempeño (PG) futuros de cada estación. Una vez obtenido los grados de desempeños futuros se compararán con los calculados en los capítulos anteriores de manera de cuantificar la influencia del cambio climático en la elección del ligante asfáltico.

La DMC realiza además una simulación hacia el pasado (Hindcast), más específicamente al periodo 1970-1999. El “Hindcast” se comparará con la base de datos histórica de 1970-1999 de algunas estaciones, para poder testear los modelos climáticos utilizados.

En las figuras 6-1 y 6-2 (Temperatura mínima y máxima diaria respectivamente), se muestran los comparativos entre los datos históricos y la simulación al pasado (Hindcast).

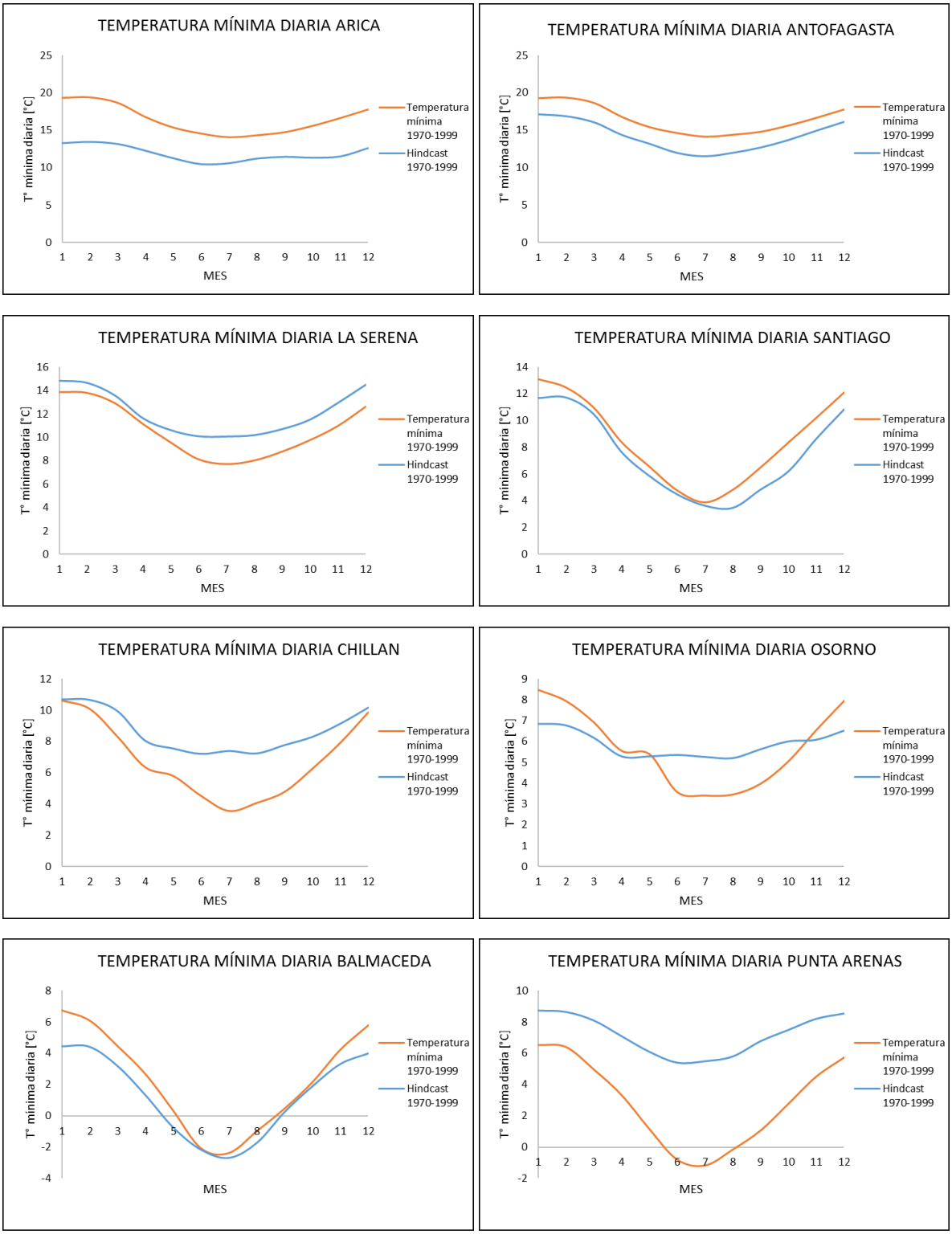


Figura 6- 1: Gráficos comparativos entre "Hindcast" y las temperaturas históricas del periodo 1970-1999 para las temperaturas mínimas diarias.

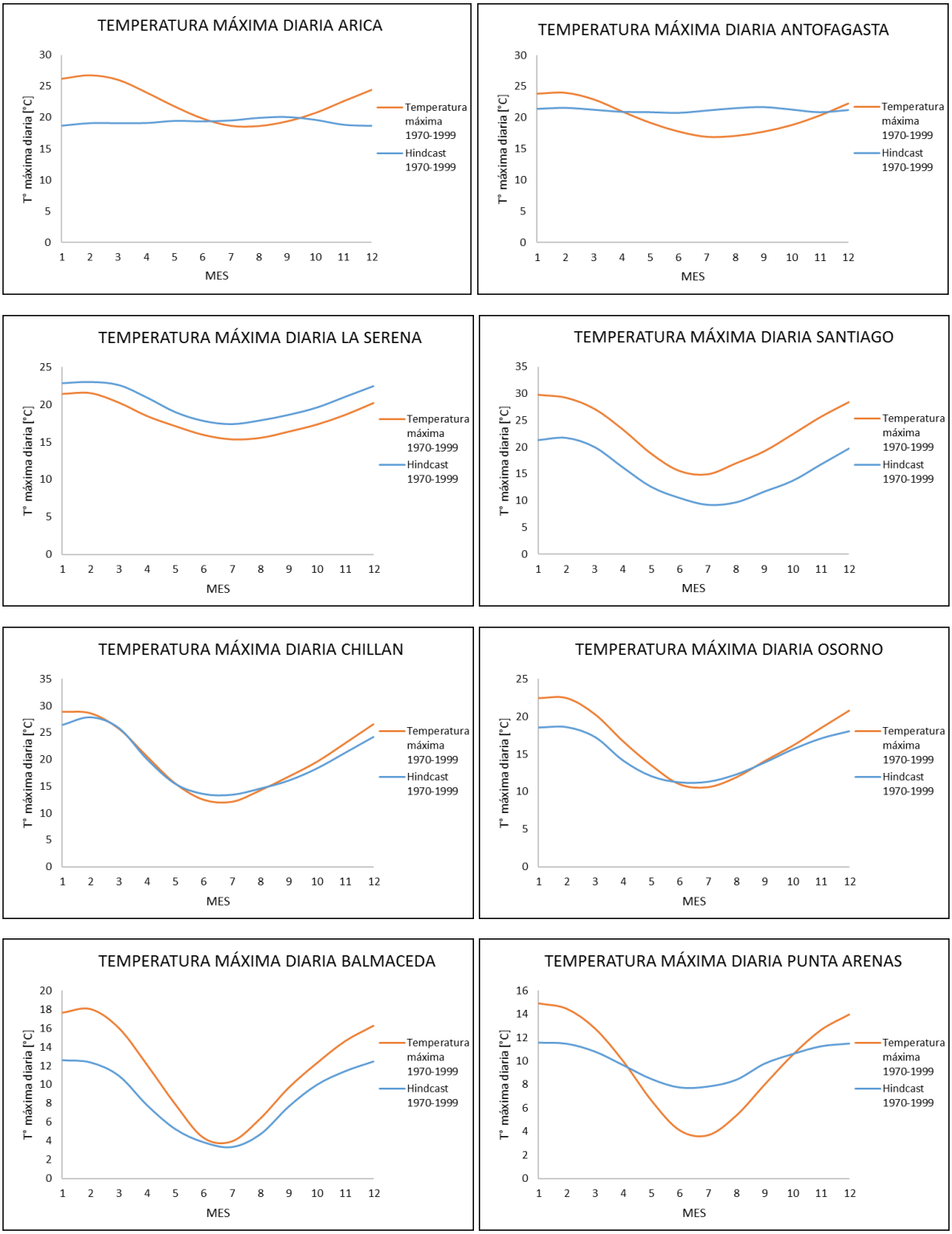


Figura 6- 2: Gráficos comparativos entre "Hindcast" y las temperaturas históricas del periodo 1970-1999 para las temperaturas máximas diarias.

En las figuras anteriores, se presentó un comparativo entre promedios mensuales de temperaturas extremas diarias para un periodo de 30 años. Por un lado, se tiene las mediciones de temperatura realizadas durante 1970-1999 y por el otro la simulación realizada por la DMC para el mismo periodo. Con lo anterior, se busca verificar la exactitud de los modelos MIROC5 y WRF.

Se puede apreciar, que las simulaciones representan correctamente el ciclo anual de las temperaturas extremas, pero en la mayoría de las ciudades analizadas presenta un sesgo, que en ocasiones es bastante considerable, es por ello que las simulaciones climáticas con los escenarios RCP 2.6 y RCP 8.5 para el periodo 2030-2059, no podrán ser utilizadas directamente, para calcular los grados de desempeño, ante esto las simulaciones climáticas futuras, deberán ser corregidas según una metodología adecuada.

El procedimiento para corregir las simulaciones climáticas futuras tendrá los siguientes criterios:

- Se asumirá que el error cometido por el modelo MIROC5-WRF en la simulación al pasado (hindcast) es constante en el tiempo, es decir, que ese mismo error se cometerá al simular los escenarios futuros RCP 2.6 y RCP 8.5 para el periodo 2030-2059.
- Se asumirá que la diferencia entre el "hindcast" y los escenarios futuros RCP´s será igual a la diferencia entre la base de datos históricas y el clima futuro. El clima futuro será nombrado como RCP 2.6 corregido y RCP 8.5 Corregido. Esta diferencia entre los dos periodos climáticos adoptará el nombre de Delta climático. El proceso anterior se puede entender mejor en la figura 6-3.

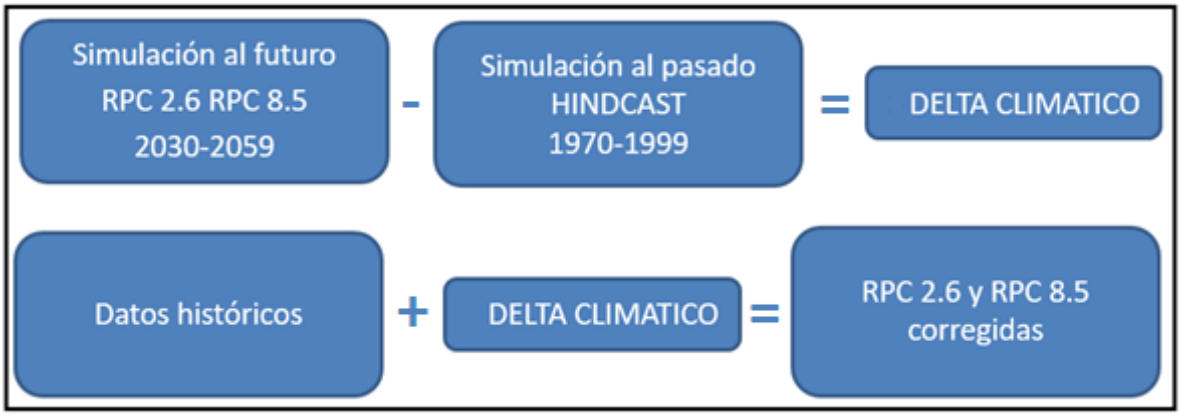


Figura 6- 3: Esquema explicativo sobre el delta climático.

La metodología para corregir los datos simulados por la DMC, tomando en cuenta los criterios mencionados, será la siguiente:

- Cálculo del delta climático para cada estación en estudio: Se calculará la diferencia entre el "hindcast" y los escenarios futuros para la temperatura máxima y mínima diaria.
- Aplicar el delta climático: El delta climático será aplicado a la base de datos histórica de una estación, con lo cual se obtendrá una base de datos futura corregida, ya sea RCP 2.6 o RCP 8.5.

6.2 Extracción de temperaturas extremas diarias para cada estación en estudio

La modelación realizada por la DMC, incluye una amplia cantidad de variables climáticas, las cuales no serán utilizadas en su totalidad en el presente estudio, sólo nos centraremos en la extracción de las temperaturas máximas y mínimas diarias, para 94 puntos de la malla georreferenciada del programa WRF. La modelación arrojó tres bases de datos: Hindcast 1970-1999, RCP 2.6 2030-2059 y RCP 8.5 2030-2059. Cada modelación ocupa un gran tamaño, cercano a 2.000 GB, este tamaño se debe a que el programa WRF arroja "outputs" cada 6 horas para casi todas las variables comprendidas en el estudio, durante un periodo de 30 años, además se ordenan en archivos diarios con las variables resultantes. Las temperaturas extremas al poseer sólo dos datos diarios se encuentran en archivos mensuales.

Los archivos de salida del programa WRF se encuentran en formato ".nc", es por ello que deben ser procesados para la extracción de datos, para esta tarea se utilizará el programa "NCAR COMMAND LANGUAGE" (NCL), el cual está diseñado para ser utilizado en el sistema operativo "LINUX". El NCL puede ser descargado de la página www.ncl.ucar.edu y el sistema operativo "LINUX" de la página www.ubuntu.com/download, ambos de forma gratuita.

El primer paso para extraer los datos modelados por la DMC, es ubicar cada una de las 94 estaciones en la malla georreferenciada del WRF (figura 6-4), este proceso parece sencillo, pero no lo es, ya que los puntos de la grilla sufren cierta distorsión al acercarse a los polos, lo cual hace muy difícil su cálculo manual, ante esta problemática se generó un código en el programa NCL, que al ingresar la ubicación geográfica de cada estación, entregaba su ubicación en la grilla.

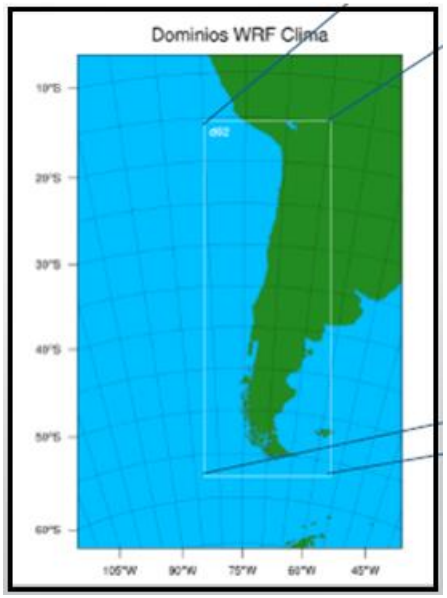


Figura 6- 4: Malla georreferenciada del programa WRF utilizada por la DMC (Alcafuz et al., 2014)

El próximo paso fue desarrollar un código para el programa NCL, en donde se seleccionaba un punto de la malla georreferenciada del WRF, desde el cual se extraía la información requerida, en este caso la temperatura máxima y mínima diaria para el periodo en estudio (30 años). Este proceso se realizó para las 94 estaciones y las 3 bases de datos (hindcast, RCP 2.6 y RCP 8.5).

Con lo anterior, se logra extraer la información requerida de los archivos ".nc" a archivos formato texto(".txt"), para facilitar el trabajo posterior, estos son traspasados a hojas de cálculos del programa Excel.

Una vez terminado los procesos anteriores, se tienen las modelaciones climáticas para las 94 estaciones en estudio, es decir, los escenarios futuros RCP 8.5 y RCP 2.6 además del "hindcast".

6.4 Determinación del delta climático a utilizar

Finalizados los puntos anteriores, se debe elegir la manera de calcular los deltas climáticos, para la corrección de las simulaciones futuras. Surgen dos opciones, un delta climático trimestral y uno mensual. Finalmente se decide por un delta climático mensual, el cual describe de mejor manera la variabilidad climática, ya que presenta datos promedios de solo 30 días al año, mucho menor que los 90 de la otra opción. Para fundamentar se presenta la tabla 6-1, que ejemplifica lo anterior.

Tabla 6- 1: Comparativo entre delta climático mensual y trimestral para la ciudad de Concepción.

		Cálculo delta climático estación carriel sur, Concepción			
		Promedio mensual temperatura máxima diaria para el periodo 1970-1999 HINDCAST [°C]	**Promedio mensual temperatura máxima diaria para el periodo 2030-2059 RCP 8.5 [°C]**	**Δ Climático mensual (RCP 8.5-Hindcast) [°C]**	**Δ Climático trimestral (RCP 8.5-Hindcast) [°C]**
TRIMESTRE 2	MARZO	21,69	22,85	1,16	1,19
	ABRIL	18,65	20,19	1,53	
	MAYO	15,96	16,84	0,88	

En la tabla anterior, se aprecia que aplicar el delta climático trimestral a las temperaturas del mes de abril resulta demasiado conservador, lo contrario sucede con el mes de mayo. El delta climático trimestral, haría aplicar un delta climático erróneo a algunos meses, es por ello que se escogió un delta climático mensual.

6.5 Cálculo del delta climático para cada estación

Se deberán calcular un total de 12 deltas climáticos, para cada temperatura extrema (máxima y mínima) y escenario, es decir, se obtendrán un total de 48 deltas climáticos por estación. El cálculo del delta climático se realizará según la fórmula 6-1.

$$\Delta\, climatico_{est,esc,var,m} = RCP_{est,esce,var,m} - Hindcast_{est,var,m}$$

(Fórmula 6- 1)

$Donde$:

$RCP_{est,esce,var,mes}$: Promedio mensual del mes "m" de la variable en estudio (temperatura máxima o mínima diaria) para una estación "est" y un escenario "esc" (RCP 8.5 o RCP 2.6).

$Hindcast\ _{est,esce,var,mes}$: Promedio mensual del mes "m" de la variable en estudio (temperatura máxima o mínima diaria) para una estación "est" de la simulación Hindcast.

Por ejemplo:

$RCP_{Antofagasta,rcp\ 8.5,temp.maxima\ diaria,febrero}$:Promedio temperaturas máximas diarias de los meses de febrero, para la estación de Antofagasta y el escenario RCP 8.5.

A continuación, se presentarán deltas climáticos mensuales para algunas estaciones de Chile. Arica (figura 6-5), Antofagasta (figura 6-6), La Serena (figura 6-7), Santiago (figura 6-8), Chillán (figura 6-9), Osorno (figura 6-10), Balmaceda (figura 6-11) y Punta Arenas (figura 6-12).

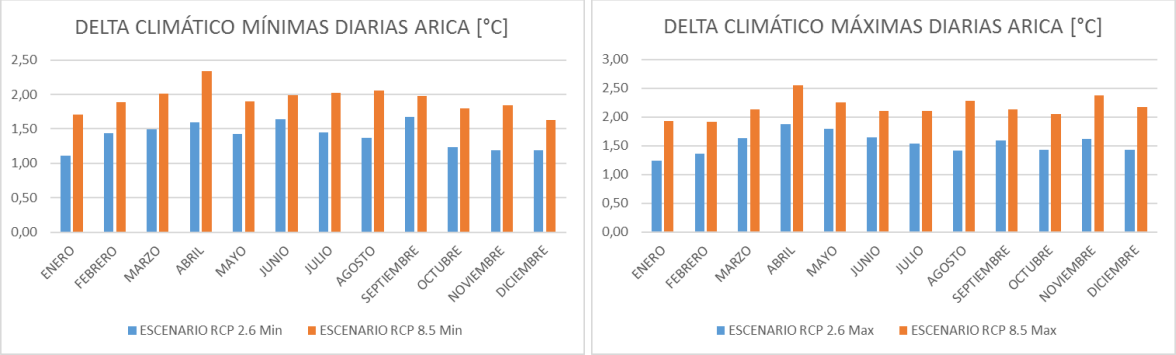


Figura 6- 5: Delta climático de la ciudad de Arica para la temperatura mínima y máxima diaria

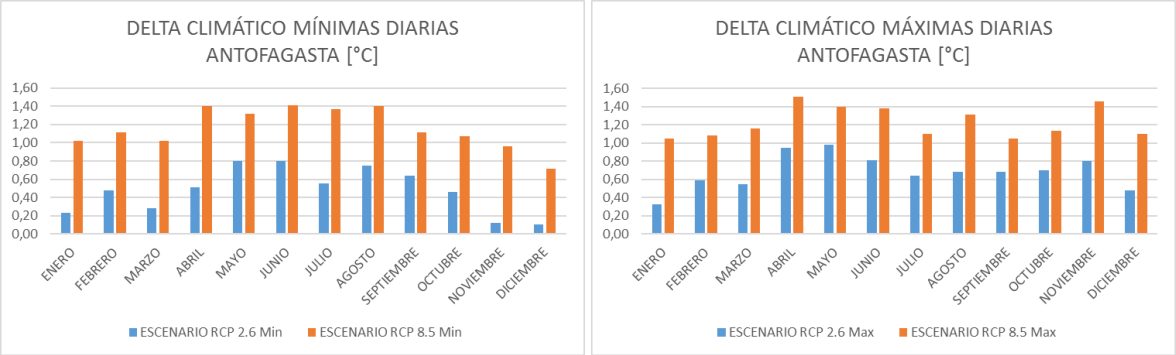


Figura 6- 6: Delta climático de la ciudad de Antofagasta para la temperatura mínima y máxima diaria

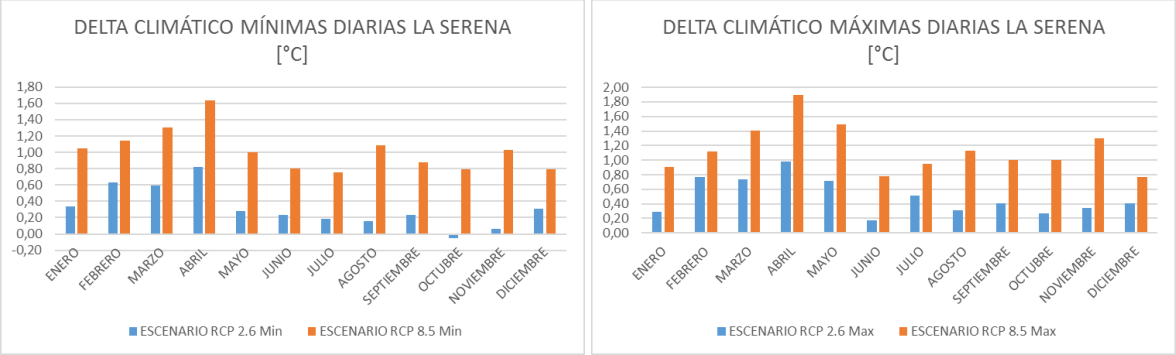


Figura 6- 7: Delta climático de la ciudad de La Serena para la temperatura mínima y máxima diaria

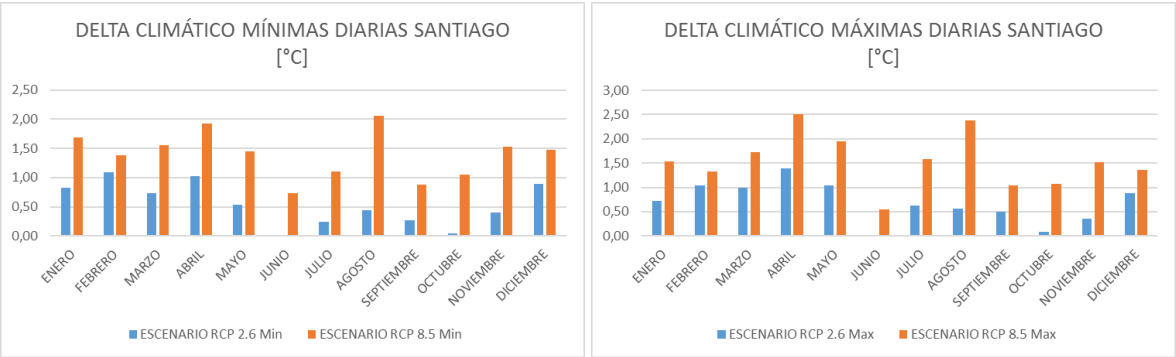


Figura 6- 8:Delta climático de la ciudad de Santiago para la temperatura mínima y máxima diaria

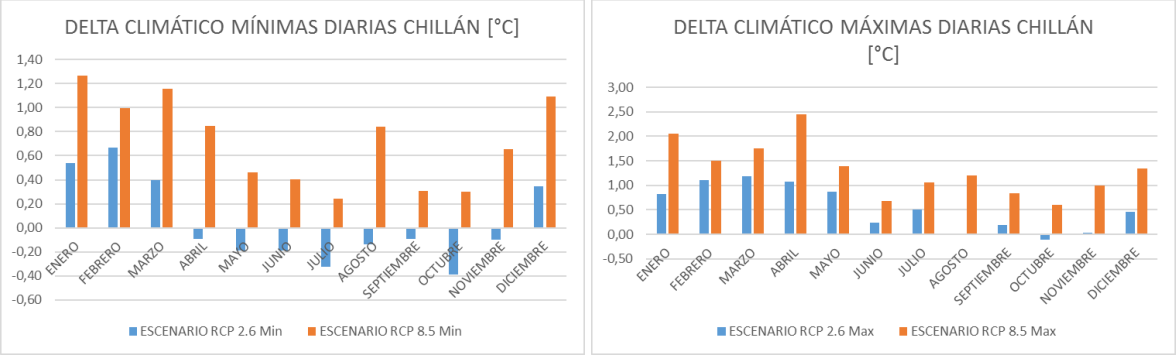


Figura 6- 9: Delta climático de la ciudad de Chillán para la temperatura mínima y máxima diaria

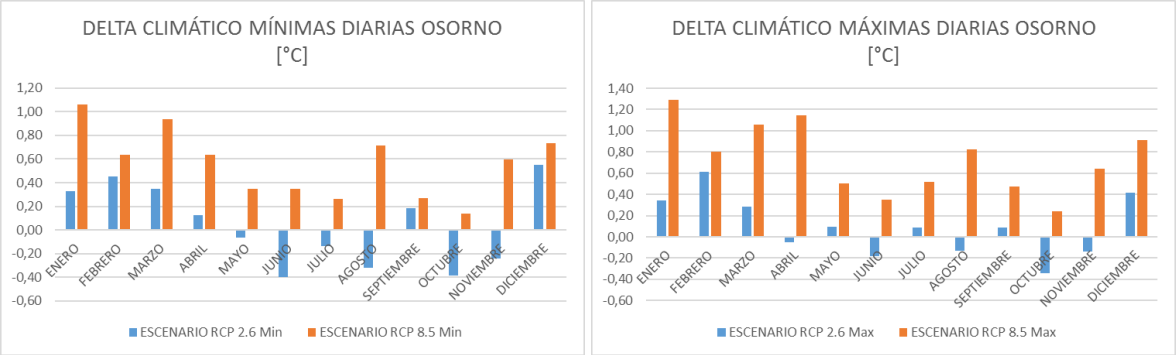


Figura 6- 10:Delta climático de la ciudad de Osorno para la temperatura mínima y máxima diaria

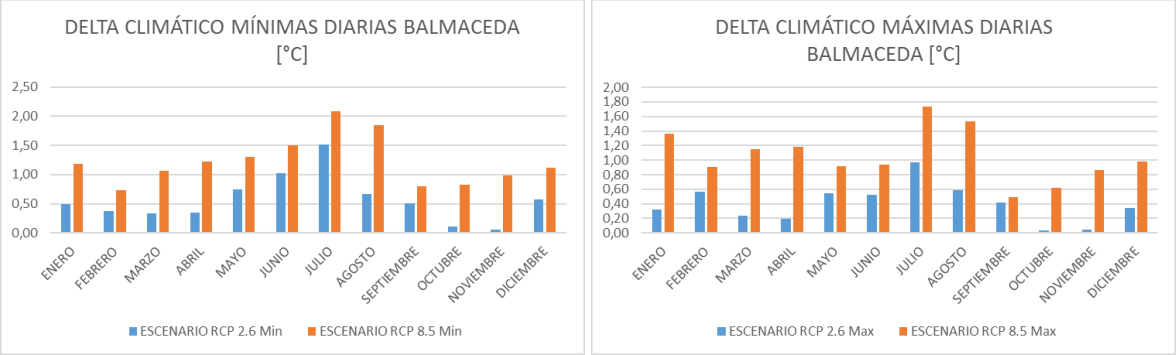


Figura 6- 11: Delta climático de la ciudad de Balmaceda para la temperatura mínima y máxima diaria

Figura 6- 12: Delta climático de la ciudad de Punta Arenas para la temperatura mínima y máxima diaria

6.6 Obtención del clima futuro corregido

Una vez obtenidos los deltas climáticos para las estaciones en estudio, se aplicarán a los datos históricos recopilados en los capítulos anteriores.

Se realiza el supuesto, que al presentarse un cambio climático, este se verá reflejado de igual manera para todas las temperaturas del mes en estudio, por ejemplo, las temperaturas máximas diarias de los meses de febrero para la estación de Antofagasta se verán afectadas por un $\Delta\ climatico_{Antofagasta,rcp\ 8.5,temp.maxima\ diaria,febrero}$, tomando en consideración el escenario más desfavorable. Otro supuesto es que el delta climático, será el mismo fuera del rango para el cual fue calculado (1970-1999).

Este delta climático simula un cambio en la estadística de 60 años, es decir al aplicarle el delta climático a un dato de 1960 pasaría a pertenecer a 2020.

En la fórmula 6-2 se detalla el procedimiento para aplicar el delta climático.

$$RCP\ Corregido_{\ est,esce,var,m,a+60} = Datos\ historicos_{est,esce,var,m,a} + \Delta\ climatico_{est,esc,var,m}$$

(Fórmula 6- 2)

$Donde$:

$RCP\ Corregido_{\ est,esce,var,m,a+60}$: variable en estudio (temperatura máxima o mínima diaria) del mes “m” del año “a+60” de la estación “est” para el escenario “esce”.

$Datos\ historicos_{\ est,esce,var,m,a}$: variable en estudio (temperatura máxima o mínima diaria) del mes “m” del año “a” de la estación “est” para el escenario “esce”, proveniente de la base histórica de la DMC o DGA.

$\Delta\ climatico_{est,esc,var,m}$: Delta climático para la variable en estudio (temperatura máxima o mínima diaria) del mes “m” de la estación “est” para el escenario “esce”.

En la tabla 6-2 se presenta un ejemplo de aplicación de la fórmula anterior.

Tabla 6- 2: Ejemplo de aplicación delta climático para la ciudad de Antofagasta.

$\Delta\ climático_{Antofagasta,rcp\ 8.5,temp.máxima\ diaria,febrero}$	1,1[°C]

Temperaturas máximas diarias mes de febrero año 1973 Antofagasta		**Temperaturas máximas diarias mes de febrero año 2033 Antofagasta RCP 8.5 Corregido**	
Día	Temperatura máxima diaria [°C]	Día	Temperatura máxima diaria [°C]
1	24,5	1	25,6
2	25	2	26,1
3	26,1	3	27,2
4	20,5	4	21,6
5	25,2	5	26,3
6	25,8	6	26,9
7	26,7	7	27,8
8	26,9	8	28,0
9	26,4	9	27,5
10	26,8	10	27,9
11	25,2	11	26,3
12	24,8	12	25,9
13	23,9	13	25,0
14	25,4	14	26,5
15	24,8	15	25,9
16	24,6	16	25,7
17	24,4	17	25,5
18	24,4	18	25,5
19	24,8	19	25,9
20	24,9	20	26,0
21	25	21	26,1
22	24,4	22	25,5
23	24,6	23	25,7
24	24,2	24	25,3
25	24	25	25,1
26	24	26	25,1
27	24,6	27	25,7
28	24	28	25,1

Lo mostrado en la tabla anterior, se realizará para los datos históricos de cada estación detalladas en el capítulo 3, obteniendo el clima proyectado para un periodo futuro, en dos escenarios, RCP 2.6 y RCP 8.5.

7. CLASIFICACIÓN SUPERPAVE CONSIDERANDO CAMBIO CLIMÁTICO

El clima es un factor muy importante para el diseño de pavimentos flexibles, ya que puede modificar sus propiedades físicas y con ello afectar su desempeño. Por lo cual se decide elaborar una zonificación SUPERPAVE para el territorio nacional, considerando una evolución de 60 años en los datos climáticos. Esta zonificación se realizará en base a la información obtenida en el capítulo 6, en el cual se corrigen las simulaciones de la DMC.

Para la asignación del ligante tradicional, se tratará de mantener la realizada en los capítulos anteriores, cambiando la menor cantidad de estaciones posibles.

7.1 Método SHRP

Este método fue utilizado por Segovia (2015) para crear una recomendación de ligantes asfálticos para Chile, la información resultante de dicho estudio, será comparada con la obtenida en este punto.

Los grados de desempeño para cada estación se calcularán, utilizando los modelos SHRP para cada escenario futuro. Se seguirán los mismos procedimientos descritos en el capítulo 3.

7.1.1 Escenario RCP 2.6

Se utilizará el escenario RCP 2.6 para cuantificar el cambio climático, es decir, a los datos de temperaturas extremas obtenidos en el capítulo 3, se les aplicará el delta climático, asociado a este escenario.

- **Cálculo del grado de desempeño teórico**

Se comienza con el cálculo de la temperatura del pavimento para cada estación, aplicando los deltas climáticos a las temperaturas calculadas con la metodología SHRP, además de asignarle el respectivo PG teórico. Lo anterior se muestra en la tabla 7-1.

Tabla 7- 1: Clasificación SUPERPAVE para Chile por estación, según el modelo SHRP + escenario RCP 2.6.

Estaciones			Temperatura aire				Temperatura pavimento				PG SHRP			
Número	Nombre	Latitud	T° min	Desv Min aire	T° max promedio 7 dias	Desv Max aire	T° min SHRP		T° max SHRP		Alta	Baja	Alta	Baja
							50%	98%	50%	98%	50%		98%	
1	CHACALLUTA, ARICA AEROPUERTO	-18,3514	7,44	2,06	32,30	0,50	7,44	3,33	55,4	56,3	58	-10	58	-10
2	DIEGO ARACENA IQUIQUE AP	-20,5467	8,71	1,67	29,63	0,53	8,71	5,38	52,8	53,8	58	-10	58	-10
3	EL LOA, CALAMA AD	-22,4953	-11,49	2,96	29,87	1,49	-11,49	-17,40	53,0	55,8	58	-16	58	-22
4	CERRO MORENO ANTOFAGASTA AP	-23,4503	0,80	1,84	27,94	0,98	0,80	-2,89	51,1	52,9	52	-10	58	-10
5	LA FLORIDA, LA SERENA AD	-29,9172	0,36	2,36	25,84	0,44	0,36	-4,36	48,4	49,3	52	-10	52	-10
6	SANTO DOMINGO, AD	-33,6550	-5,00	3,51	26,13	1,33	-5,00	-12,01	48,1	50,7	52	-10	52	-16
7	QUINTA NORMAL, SANTIAGO	-33,4450	-3,28	3,21	34,28	1,56	-3,28	-9,70	56,0	58,9	58	-10	64	-10
8	EULOGIO SANCHEZ, TOBALABA AD	-33,4544	-3,70	3,07	35,43	1,48	-3,70	-9,84	57,0	59,9	58	-10	64	-10
9	PUDAHUEL SANTIAGO	-33,5419	-6,55	3,71	34,45	1,08	-6,55	-13,97	56,1	58,2	58	-10	64	-16
10	GENERAL FREIRE, CURICO AD	-34,9664	-6,63	3,80	34,84	1,87	-6,63	-14,23	56,2	59,8	58	-10	64	-16
11	BERNARDO O'HIGGINS, CHILLAN AD	-36,5872	-7,33	3,88	34,70	1,98	-7,33	-15,08	55,7	59,5	58	-10	64	-16
12	CARRIEL SUR, CONCEPCION	-36,7792	-4,54	3,78	27,71	4,28	-4,54	-12,10	49,0	57,2	52	-10	58	-16
13	MANQUEHUE, TEMUCO AD	-38,7700	-8,70	4,14	32,17	5,32	-8,70	-16,98	52,8	63,0	58	-10	64	-22
14	PICHOY, VALDIVIA AD	-39,6511	-7,58	4,14	32,05	3,22	-7,58	-15,85	52,5	58,6	58	-10	64	-16
15	CAÑAL BAJO, OSORNO AD	-40,6050	-8,13	4,18	31,61	3,25	-8,13	-16,49	51,8	58,0	52	-10	64	-22
16	EL TEPUAL PUERTO MONTT, AP	-41,4350	-6,18	3,85	27,70	3,04	-6,18	-13,88	47,9	53,7	52	-10	58	-16
17	CHAITEN AD	-42,9311	-5,18	3,38	26,70	6,03	-5,18	-11,94	46,5	58,0	52	-10	64	-16
18	FUTALEUFU AD	-43,1892	-9,95	3,48	31,28	2,69	-9,95	-16,92	50,8	56,0	52	-10	58	-22
19	ALTO PALENA AD	-43,6117	-10,18	3,22	32,62	2,86	-10,18	-16,61	52,0	57,4	52	-16	58	-22
20	PUERTO AYSEN AD	-45,3961	-7,87	2,93	27,43	3,10	-7,87	-13,73	46,5	52,4	52	-10	58	-16
21	TENIENTE VIDAL, COYHAIQUE AD	-45,5939	-18,33	3,65	30,95	3,60	-18,33	-25,62	49,8	56,6	52	-22	58	-28
22	BALMACEDA AD	-45,9125	-26,68	4,69	30,05	2,10	-26,68	-36,06	48,8	52,8	52	-28	58	-40
23	CHILE CHICO AD	-46,9086	-12,18	3,58	30,21	3,36	-12,18	-19,35	48,6	55,0	52	-16	58	-22
24	LORD COCHRANE AD	-47,2444	-15,08	3,15	30,83	3,78	-15,08	-21,37	49,1	56,3	52	-16	58	-22
25	CARLOS IBAÑEZ, PUNTA ARENAS AP	-53,0050	-16,87	2,97	23,39	2,53	-16,87	-22,80	39,8	44,7	46	-22	46	-28
26	GUARDIA MARINA ZAÑARTU, PUERTO WILLIAMS AD	-54,9317	-10,63	2,70	21,00	3,08	-10,63	-16,02	36,8	42,6	46	-16	46	-22
27	el buitre aeródromo	-18,5119	6,36	2,33	33,65	0,41	6,36	1,70	56,7	57,4	58	-10	58	-10
28	AZAPATA	-18,5156	1,36	2,65	34,88	0,04	1,36	-3,94	57,8	57,9	58	-10	58	-10
29	CHUNGARA AJATA	-18,2353	-11,75	2,62	21,54	2,76	-11,75	-16,99	45,1	50,4	46	-16	52	-22
30	CODPA	-18,8322	-0,56	2,31	28,47	1,19	-0,56	-5,17	51,7	54,0	52	-10	58	-10
31	COYACAGUA	-20,0531	-20,20	3,82	25,47	1,18	-20,20	-27,85	48,8	51,1	52	-22	52	-28
32	LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA)	-19,9333	-23,83	5,85	23,66	1,42	-23,83	-35,53	47,1	49,8	52	-28	52	-40
33	CASPANA	-22,3367	-6,83	2,63	26,70	2,13	-6,83	-12,08	49,9	54,0	52	-10	58	-16
34	CHIU-CHIU	-22,3378	-12,60	3,44	29,03	2,19	-12,60	-19,48	52,2	56,3	58	-16	58	-22
35	CONCHI EMBALSE	-22,0250	-13,94	3,69	29,23	1,86	-13,94	-21,31	52,4	55,9	58	-16	58	-22
36	LINZOR	-22,2297	-17,15	3,11	21,88	0,69	-17,15	-23,36	45,3	46,7	46	-22	52	-28
37	PARSHALL N 2	-21,9428	-13,71	3,20	26,55	0,80	-13,71	-20,12	49,8	51,3	52	-16	52	-22
38	PEINE	-23,6842	-2,38	2,55	36,50	1,10	-2,38	-7,48	59,2	61,3	64	-10	64	-10
39	CANTO DE AGUA	-28,0992	-6,95	3,67	32,84	2,72	-6,95	-14,30	55,3	60,5	58	-10	64	-16
40	LA COMPAÑÍA (VALLENAR)	-28,5761	-1,33	2,54	30,52	1,08	-1,33	-6,40	53,1	55,1	58	-10	58	-10
41	LAUTARO EMBALSE	-27,9783	-5,60	3,82	36,06	0,58	-5,60	-13,24	58,4	59,5	64	-10	64	-16
42	LOS LOROS	-27,8317	-2,64	2,85	36,23	0,88	-2,64	-8,34	58,6	60,3	64	-10	64	-10
43	SAN FELIX	-28,9311	-3,61	3,01	37,70	0,86	-3,61	-9,63	59,9	61,5	64	-10	64	-10
44	SANTA JUANA	-28,6672	-0,23	2,78	33,38	1,26	-0,23	-5,79	55,8	58,2	58	-10	64	-10
45	CAREN	-30,8547	-2,11	3,14	35,90	1,72	-2,11	-8,39	57,9	61,2	58	-10	64	-10
46	COGOTI EMBALSE	-31,0078	-3,21	2,78	32,97	1,71	-3,21	-8,76	55,1	58,4	58	-10	64	-10
47	EL TRAPICHE	-29,3731	-2,45	2,37	31,06	1,11	-2,45	-7,19	53,5	55,6	58	-10	58	-10

Tabla 7-1: Clasificación SUPERPAVE para Chile por estación, según el modelo SHRP + escenario RCP 2.6 (continuación).

Estaciones			Temperatura aire				Temperatura pavimento				PG SHRP			
Número	Nombre	Latitud	T° min	Desv Min aire	T° max promedio 7 dias	Desv Max aire	T° min SHRP		T° max SHRP		Alta	Baja	Alta	Baja
							50%	98%	50%	98%	50%		98%	
48	HURTADO	-30,2867	-3,61	3,88	33,78	1,51	-3,61	-11,37	56,0	58,9	58	-10	64	-16
49	ILLAPEL DGA	-31,6450	-2,18	2,81	32,80	0,88	-2,18	-7,80	54,8	56,5	58	-10	58	-10
50	LA LAGUNA EMBALSE	-30,2033	-19,05	3,65	32,11	1,11	-19,05	-26,36	54,4	56,5	58	-22	58	-28
51	LA ORTIGA	-30,1939	-4,79	3,46	32,95	0,92	-4,79	-11,72	55,2	56,9	58	-10	58	-16
52	LA TRANQUILLA	-31,9000	-3,95	3,25	35,65	1,65	-3,95	-10,45	57,5	60,7	58	-10	64	-16
53	LAS RAMADAS	-31,0181	-6,85	3,81	34,47	1,86	-6,85	-14,48	56,5	60,1	58	-10	64	-16
54	LOS CONDORES	-32,1086	-3,24	2,46	30,80	3,37	-3,24	-8,16	52,9	59,3	58	-10	64	-10
55	PALOMA EMBALSE	-30,6958	-0,37	2,53	33,69	1,81	-0,37	-5,42	55,8	59,3	58	-10	64	-10
56	RECOLETA EMBALSE	-30,5069	0,63	2,26	31,81	0,62	0,63	-3,89	54,1	55,2	58	-10	58	-10
57	RIVADAVIA	-29,9772	-9,21	3,32	34,41	1,43	-9,21	-15,86	56,6	59,3	58	-10	64	-16
58	ALICAHUE	-32,3408	-4,06	3,04	32,78	3,81	-4,06	-10,14	54,7	62,0	58	-10	64	-16
59	LAGO PEÑUELAS	-33,1450	-4,68	3,24	29,81	2,06	-4,68	-11,16	51,7	55,7	52	-10	58	-16
60	LLIU-LLIU EMBALSE	-33,0986	-1,99	2,85	35,33	2,64	-1,99	-7,69	57,0	62,1	58	-10	64	-10
61	LOS AROMOS	-32,9578	-3,01	3,01	33,09	1,32	-3,01	-9,03	54,9	57,4	58	-10	58	-10
62	QUILLOTA	-32,8958	-5,00	3,52	35,21	3,18	-5,00	-12,03	56,9	63,0	58	-10	64	-16
63	VILCUYA	-32,8603	-8,51	3,60	35,32	1,91	-8,51	-15,72	57,0	60,7	58	-10	64	-16
64	CERRO CALAN	-33,3950	-2,03	3,14	36,53	1,39	-2,03	-8,30	58,1	60,8	64	-10	64	-10
65	EL YESO EMBALSE	-33,6767	-16,13	4,10	27,58	0,76	-16,13	-24,33	49,5	51,0	52	-22	52	-28
66	LAGUNA ACULEO	-33,8858	-5,34	3,71	34,33	1,27	-5,34	-12,76	55,9	58,4	58	-10	64	-16
67	LOS PANGUILES	-33,4386	-3,44	3,31	35,05	1,35	-3,44	-10,05	56,7	59,3	58	-10	64	-16
68	MELIPILLA	-33,6803	-2,49	3,16	32,56	2,51	-2,49	-8,81	54,3	59,1	58	-10	64	-10
69	PIRQUE	-33,6736	-9,62	3,70	34,01	1,74	-9,62	-17,01	55,6	59,0	58	-10	64	-22
70	CONVENIO VIEJO	-34,7694	-5,59	3,26	34,19	1,35	-5,59	-12,11	55,6	58,2	58	-10	64	-16
71	ANCOA EMBALSE	-35,9106	-7,45	3,45	32,79	1,25	-7,45	-14,35	54,1	56,5	58	-10	58	-16
72	COLORADO	-35,6381	-12,98	3,65	33,91	1,47	-12,98	-20,28	55,2	58,0	58	-16	58	-22
73	DIGUA EMBALSE	-36,2558	-7,17	3,53	36,09	1,48	-7,17	-14,24	57,1	60,0	58	-10	64	-16
74	PARRAL	-36,1878	-5,70	3,87	36,14	1,77	-5,70	-13,44	57,2	60,6	58	-10	64	-16
75	PENCAHUE	-35,3725	-5,57	4,04	37,93	0,71	-5,57	-13,65	59,1	60,4	64	-10	64	-16
76	POTRERO GRANDE	-35,1833	-9,12	3,99	34,07	1,15	-9,12	-17,10	55,4	57,6	58	-10	58	-22
77	TALCA UC	-35,4358	-6,97	3,88	34,39	1,68	-6,97	-14,73	55,7	58,9	58	-10	64	-16
78	CARACOL	-36,6511	-6,14	2,79	32,94	1,94	-6,14	-11,72	54,0	57,7	58	-10	58	-16
79	COIHUECO EMBALSE	-36,6408	-8,09	3,86	38,80	2,02	-8,09	-15,80	59,6	63,5	64	-10	64	-16
80	DIGUILLIN	-36,8686	-7,03	3,23	33,60	1,44	-7,03	-13,49	54,6	57,4	58	-10	58	-16
81	QUILACO	-37,6850	-8,64	4,22	36,10	1,37	-8,64	-17,08	56,8	59,4	58	-10	64	-22
82	LIUCURA	-38,6517	-29,21	4,47	38,55	1,44	-29,21	-38,16	59,0	61,7	64	-34	64	-40
83	LONQUIMAY	-38,4536	-25,55	4,00	35,09	2,79	-25,55	-33,55	55,7	61,0	58	-28	64	-34
84	MALALCAHUELLO	-38,4703	-16,59	3,38	31,63	2,75	-16,59	-23,36	52,4	57,6	58	-22	58	-28
85	PUCON	-39,2753	-5,24	3,09	33,48	4,47	-5,24	-11,42	54,0	62,5	58	-10	64	-16
86	PUERTO SAAVEDRA	-38,7886	-4,88	3,08	30,48	0,63	-4,88	-11,04	51,2	52,4	52	-10	58	-16
87	TEODORO SCHMITD	-39,0278	-6,54	3,47	30,37	1,26	-6,54	-13,48	51,0	53,5	52	-10	58	-16
88	TRAIGUE	-38,2561	-8,79	3,64	34,41	3,15	-8,79	-16,07	55,1	61,1	58	-10	64	-22
89	ADOLFO MATTHEI	-40,5883	-7,49	3,91	31,63	3,30	-7,49	-15,30	51,9	58,2	52	-10	64	-16
90	COYHAIQUE(ESCUELA AGRICOLA)	-45,5739	-17,13	3,41	30,11	2,22	-17,13	-23,95	49,0	53,2	52	-22	58	-28
91	PUERTO PUYUHUAPI	-44,3228	-6,58	3,17	29,04	3,73	-6,58	-12,91	48,3	55,5	52	-10	58	-16
92	VILLA MAÑIHUALES	-45,1733	-15,00	3,09	32,81	3,00	-15,00	-21,18	51,7	57,4	52	-16	58	-22
93	PUNTA ARENAS	-53,1233	-10,97	2,79	23,69	3,14	-10,97	-16,55	40,1	46,1	46	-16	52	-22
94	TORRES DEL PAINE	-51,1842	-17,49	4,43	26,14	2,86	-17,49	-26,35	43,2	48,6	46	-22	52	-28

- **Asignación de un ligante asfáltico tradicional a cada estación**

Como fue mencionado anteriormente, se intentará modificar lo menos posible los mapas de zonificación ya realizados, es por ello que a continuación, se presentan las estaciones a las cuales obligatoriamente se le debe cambiar el ligante asfáltico asignado por Segovia (2015).

En la tabla 7-2, se aprecian las estaciones que cambian de ligante asfáltico.

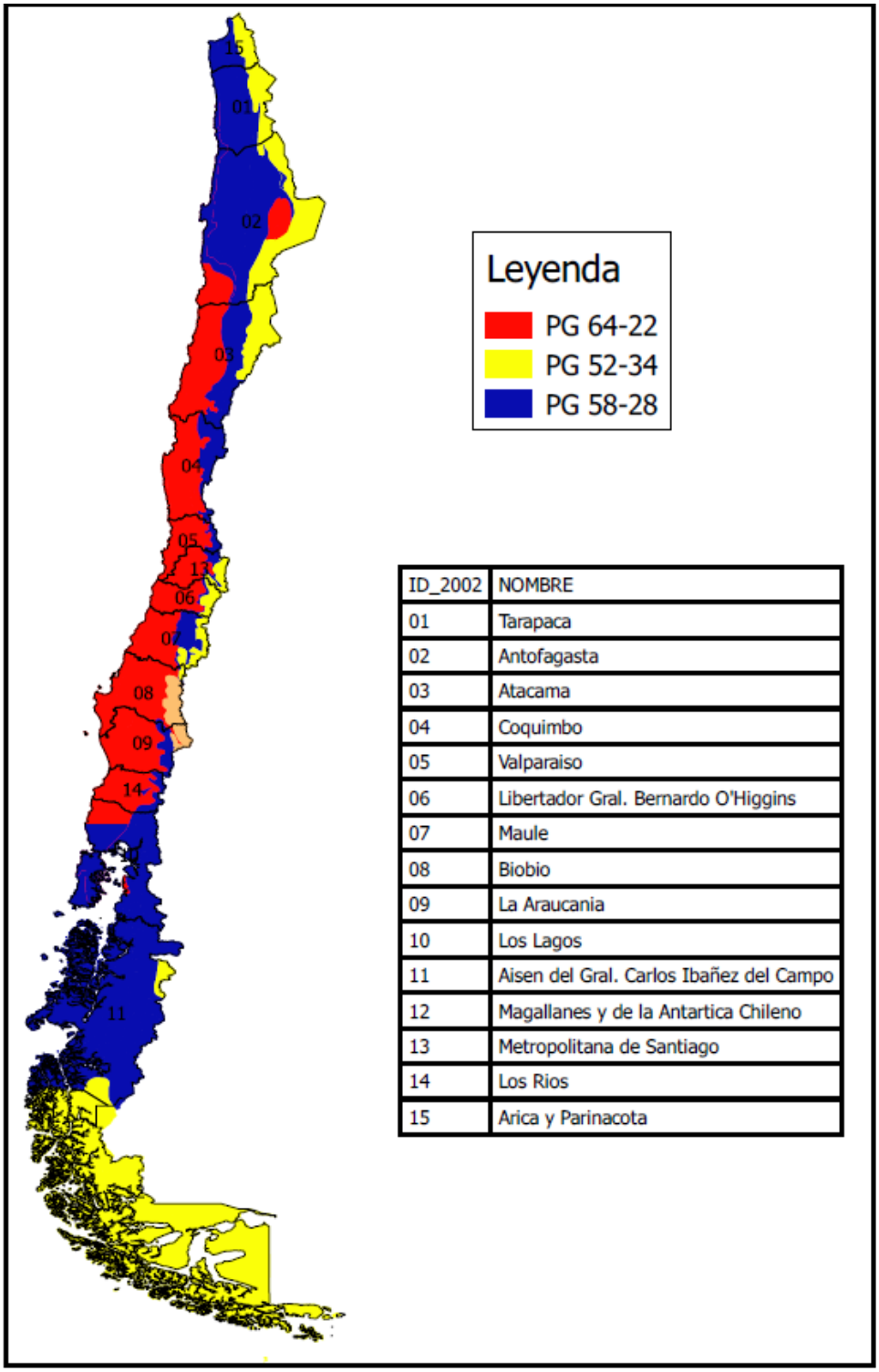
Tabla 7- 2: Estaciones que deben cambiar de ligante tradicional por el cambio climático según modelo SHRP + escenario RCP 2.6.

Modelo	Escenario	Confiabilidad	Estaciones que deben cambiar su ligante asfáltico	Ligante anterior	Ligante Nuevo
SHRP	RCP 2.6	50%	Peine	PG 58-28	PG 64-22
		98%	Osorno	PG 58-28	PG 64-22
			Chaitén	PG 58-28	PG 64-22
			Pirque	PG 58-28	PG 64-22
			Adolfo Matthei	PG 58-28	PG 64-22

- **Mapa se zonificación SUPERPAVE**

El mapa de zonificación para un 50% de confiabilidad es presentado en el ANEXO A, ya que la diferencia con el mapa presentado por Segovia (2015) es muy poca.

En la figura 7-1, se aprecia el mapa de zonificación SUPERPAVE de Chile utilizando los modelos SHRP, el escenario RCP 2.6 y un 98 % de confiabilidad.



ID_2002	NOMBRE
01	Tarapaca
02	Antofagasta
03	Atacama
04	Coquimbo
05	Valparaiso
06	Libertador Gral. Bernardo O'Higgins
07	Maule
08	Biobio
09	La Araucania
10	Los Lagos
11	Aisen del Gral. Carlos Ibañez del Campo
12	Magallanes y de la Antartica Chileno
13	Metropolitana de Santiago
14	Los Rios
15	Arica y Parinacota

**Lagunillas PG 52-34: No cumple el grado de baja temperatura con una confiabilidad de 95,91%.*
**Liucura PG 64-34: No cumple el grado de baja temperatura con una confiabilidad de 85,77%.*
**Balmaceda PG 52-34: No cumple los grados de alta y baja temperatura con una confiabilidad de 94%.*

Figura 7- 1: Zonificación SUPERPAVE para Chile utilizando los modelos SHRP, escenario RCP 2.6 y 98% de confiabilidad.

7.1.2 Escenario RCP 8.5

Se utilizará el escenario RCP 8.5 para cuantificar el cambio climático, es decir, a los datos de temperaturas extremas obtenidos en el capítulo 3, se les aplicará el delta climático, asociado a este escenario.

- **Cálculo del grado de desempeño teórico**

Se comienza con el cálculo de la temperatura del pavimento para cada estación, aplicando los deltas climáticos a las temperaturas calculadas con la metodología SHRP, además de asignarle el respectivo PG teórico. Lo anterior se muestra en la tabla 7-3.

Tabla 7- 3: Clasificación SUPERPAVE para Chile por estación, según el modelo SHRP + escenario RCP 8.5.

Estaciones			Temperatura aire				Temperatura pavimento				PG SHRP			
							T° min SHRP		T° max SHRP		Alta	Baja	Alta	Baja
Número	Nombre	Latitud	T° min	Desv Min aire	T° max promedio 7 dias	Desv Max aire	50%	98%	50%	98%	50%		98%	
1	CHACALLUTA, ARICA AEROPUERTO	-18,3514	7,78	2,04	32,80	0,50	7,78	3,71	55,9	56,8	58	-10	58	-10
2	DIEGO ARACENA IQUIQUE AP	-20,5467	9,14	1,66	30,38	0,54	9,14	5,82	53,5	54,5	58	-10	58	-10
3	EL LOA, CALAMA AD	-22,4953	-10,77	2,95	30,37	0,90	-10,77	-16,68	53,4	55,1	58	-16	58	-22
4	CERRO MORENO ANTOFAGASTA AP	-23,4503	1,41	1,82	28,53	1,96	1,41	-2,23	51,6	55,4	52	-10	58	-10
5	LA FLORIDA, LA SERENA AD	-29,9172	1,29	2,36	26,19	0,44	1,29	-3,44	48,8	49,6	52	-10	52	-10
6	SANTO DOMINGO, AD	-33,6550	-4,40	3,53	26,39	1,33	-4,40	-11,46	48,4	50,9	52	-10	52	-16
7	QUINTA NORMAL, SANTIAGO	-33,4450	-2,57	3,23	34,95	1,69	-2,57	-9,03	56,6	59,8	58	-10	64	-10
8	EULOGIO SANCHEZ, TOBALABA AD	-33,4544	-2,98	3,05	36,65	2,12	-2,98	-9,08	58,2	62,3	64	-10	64	-10
9	PUDAHUEL SANTIAGO	-33,5419	-5,77	3,73	35,09	1,71	-5,77	-13,22	56,7	60,0	58	-10	64	-16
10	GENERAL FREIRE, CURICO AD	-34,9664	-6,05	3,80	35,32	1,19	-6,05	-13,66	56,7	58,9	58	-10	64	-16
11	BERNARDO O'HIGGINS, CHILLAN AD	-36,5872	-6,76	3,88	35,83	1,62	-6,76	-14,51	56,8	59,9	58	-10	64	-16
12	CARRIEL SUR, CONCEPCION	-36,7792	-4,15	3,79	28,01	4,28	-4,15	-11,73	49,3	57,5	52	-10	58	-16
13	MANQUEHUE, TEMUCO AD	-38,7700	-8,30	4,15	33,06	4,37	-8,30	-16,61	53,7	62,0	58	-10	64	-22
14	PICHOY, VALDIVIA AD	-39,6511	-7,24	4,14	32,51	5,60	-7,24	-15,52	52,9	63,6	58	-10	64	-16
15	CAÑAL BAJO, OSORNO AD	-40,6050	-7,74	4,18	32,13	3,54	-7,74	-16,09	52,3	59,1	58	-10	64	-22
16	EL TEPUAL PUERTO MONTT, AP	-41,4350	-5,81	3,84	28,03	3,17	-5,81	-13,49	48,2	54,3	52	-10	58	-16
17	CHAITEN AD	-42,9311	-4,20	3,38	26,82	6,03	-4,20	-10,96	46,6	58,1	52	-10	64	-16
18	FUTALEUFU AD	-43,1892	-9,57	3,50	31,51	2,69	-9,57	-16,57	51,0	56,2	52	-10	58	-22
19	ALTO PALENA AD	-43,6117	-9,33	3,22	33,49	2,93	-9,33	-15,77	52,8	58,4	58	-10	64	-16
20	PUERTO AYSEN AD	-45,3961	-7,00	2,93	28,15	3,10	-7,00	-12,85	47,1	53,1	52	-10	58	-16
21	TENIENTE VIDAL, COYHAIQUE AD	-45,5939	-17,75	3,65	32,03	3,60	-17,75	-25,05	50,8	57,7	52	-22	58	-28
22	BALMACEDA AD	-45,9125	-26,20	4,69	30,87	3,62	-26,20	-35,57	49,6	56,5	52	-28	58	-40
23	CHILE CHICO AD	-46,9086	-11,05	3,60	30,69	3,36	-11,05	-18,26	49,1	55,5	52	-16	58	-22
24	LORD COCHRANE AD	-47,2444	-14,16	3,13	31,77	3,78	-14,16	-20,42	50,0	57,2	52	-16	58	-22
25	CARLOS IBAÑEZ, PUNTA ARENAS AP	-53,0050	-16,55	2,95	23,59	2,53	-16,55	-22,46	40,0	44,9	46	-22	46	-28
26	GUARDIA MARINA ZAÑARTU, PUERTO WILLIAMS AD	-54,9317	-10,26	2,69	21,36	3,08	-10,26	-15,64	37,1	43,0	46	-16	46	-16
27	el buitre aeródromo	-18,5119	6,90	2,33	34,35	0,41	6,90	2,25	57,3	58,1	58	-10	64	-10
28	AZAPATA	-18,5156	2,05	2,65	35,44	0,04	2,05	-3,24	58,4	58,4	64	-10	64	-10
29	CHUNGARA AJATA	-18,2353	-11,31	2,65	22,06	2,76	-11,31	-16,62	45,6	50,9	46	-16	52	-22
30	CODPA	-18,8322	-0,54	2,33	29,15	0,50	-0,54	-5,20	52,4	53,3	58	-10	58	-10
31	COYACAGUA	-20,0531	-19,86	3,83	26,29	1,18	-19,86	-27,52	49,6	51,9	52	-22	52	-28
32	LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA)	-19,9333	-23,55	5,86	24,31	1,42	-23,55	-35,27	47,7	50,4	52	-28	52	-40
33	CASPANA	-22,3367	-5,70	2,63	27,50	1,25	-5,70	-10,95	50,7	53,1	52	-10	58	-16
34	CHIU-CHIU	-22,3378	-12,16	3,44	29,65	0,75	-12,16	-19,04	52,8	54,2	58	-16	58	-22
35	CONCHI EMBALSE	-22,0250	-13,95	3,67	29,73	1,86	-13,95	-21,30	52,8	56,4	58	-16	58	-22
36	LINZOR	-22,2297	-16,37	3,10	22,66	0,69	-16,37	-22,56	46,1	47,4	52	-22	52	-28
37	PARSHALL N 2	-21,9428	-13,76	3,20	27,04	0,80	-13,76	-20,16	50,3	51,8	52	-16	52	-22
38	PEINE	-23,6842	-2,28	2,65	36,80	1,10	-2,28	-7,57	59,5	61,6	64	-10	64	-10
39	CANTO DE AGUA	-28,0992	-6,38	3,66	33,63	2,72	-6,38	-13,71	56,1	61,3	58	-10	64	-16
40	LA COMPAÑÍA (VALLENAR)	-28,5761	-0,80	2,53	31,24	1,08	-0,80	-5,86	53,8	55,8	58	-10	58	-10
41	LAUTARO EMBALSE	-27,9783	-5,14	3,84	36,49	0,80	-5,14	-12,82	58,8	60,4	64	-10	64	-16
42	LOS LOROS	-27,8317	-2,23	2,85	36,75	1,05	-2,23	-7,93	59,1	61,1	64	-10	64	-10
43	SAN FELIX	-28,9311	-3,21	3,03	38,55	0,86	-3,21	-9,27	60,7	62,4	64	-10	64	-10
44	SANTA JUANA	-28,6672	0,72	2,78	34,24	0,90	0,72	-4,83	56,6	58,3	58	-10	64	-10
45	CAREN	-30,8547	-1,37	3,10	35,98	1,72	-1,37	-7,58	58,0	61,3	58	-10	64	-10
46	COGOTI EMBALSE	-31,0078	-2,68	2,81	33,44	2,70	-2,68	-8,30	55,5	60,7	58	-10	64	-10
47	EL TRAPICHE	-29,3731	-1,97	2,37	31,33	1,11	-1,97	-6,70	53,7	55,9	58	-10	58	-10

Tabla 7-3: Clasificación SUPERPAVE para Chile por estación, según el modelo SHRP + escenario RCP 8.5 (continuación).

Estaciones			Temperatura aire				Temperatura pavimento				PG SHRP			
							T° min SHRP		T° max SHRP		Alta	Baja	Alta	Baja
Número	Nombre	Latitud	T° min	Desv Min aire	T° max promedio 7 dias	Desv Max aire	50%	98%	50%	98%	50%		98%	
48	HURTADO	-30,2867	-2,81	3,88	34,13	1,51	-2,81	-10,58	56,3	59,2	58	-10	64	-16
49	ILLAPEL DGA	-31,6450	-1,49	2,83	33,41	2,30	-1,49	-7,16	55,4	59,8	58	-10	64	-10
50	LA LAGUNA EMBALSE	-30,2033	-18,20	3,60	32,89	1,11	-18,20	-25,39	55,1	57,3	58	-22	58	-28
51	LA ORTIGA	-30,1939	-3,87	3,41	33,74	1,55	-3,87	-10,68	55,9	58,9	58	-10	64	-16
52	LA TRANQUILLA	-31,9000	-2,80	3,23	36,26	1,62	-2,80	-9,27	58,1	61,2	64	-10	64	-10
53	LAS RAMADAS	-31,0181	-6,17	3,81	35,28	1,86	-6,17	-13,79	57,3	60,8	58	-10	64	-16
54	LOS CONDORES	-32,1086	-2,55	2,48	31,35	3,37	-2,55	-7,51	53,4	59,8	58	-10	64	-10
55	PALOMA EMBALSE	-30,6958	0,40	2,58	33,91	1,81	0,40	-4,75	56,0	59,5	58	-10	64	-10
56	RECOLETA EMBALSE	-30,5069	1,92	2,24	32,53	0,62	1,92	-2,57	54,7	55,9	58	-10	58	-10
57	RIVADAVIA	-29,9772	-8,47	3,27	35,19	1,49	-8,47	-15,00	57,4	60,2	58	-10	64	-16
58	ALICAHUE	-32,3408	-3,45	3,05	33,58	3,99	-3,45	-9,55	55,5	63,1	58	-10	64	-10
59	LAGO PEÑUELAS	-33,1450	-4,14	3,25	30,31	2,00	-4,14	-10,64	52,2	56,0	58	-10	58	-16
60	LLIU-LLIU EMBALSE	-33,0986	-1,46	2,87	36,01	2,64	-1,46	-7,19	57,7	62,7	58	-10	64	-10
61	LOS AROMOS	-32,9578	-2,35	3,02	33,55	1,32	-2,35	-8,40	55,3	57,8	58	-10	58	-10
62	QUILLOTA	-32,8958	-4,36	3,53	35,87	3,18	-4,36	-11,43	57,6	63,6	58	-10	64	-16
63	VILCUYA	-32,8603	-7,89	3,62	36,42	1,91	-7,89	-15,13	58,1	61,7	64	-10	64	-16
64	CERRO CALAN	-33,3950	-0,79	3,14	37,64	1,30	-0,79	-7,07	59,2	61,6	64	-10	64	-10
65	EL YESO EMBALSE	-33,6767	-15,15	4,13	28,16	0,76	-15,15	-23,40	50,1	51,5	52	-16	52	-28
66	LAGUNA ACULEO	-33,8858	-4,67	3,72	35,07	4,71	-4,67	-12,11	56,6	65,6	58	-10	70	-16
67	LOS PANGUILES	-33,4386	-2,87	3,32	35,78	1,35	-2,87	-9,50	57,4	60,0	58	-10	64	-10
68	MELIPILLA	-33,6803	-1,82	3,17	33,24	2,51	-1,82	-8,16	54,9	59,7	58	-10	64	-10
69	PIRQUE	-33,6736	-8,63	3,71	34,80	1,78	-8,63	-16,05	56,4	59,8	58	-10	64	-22
70	CONVENIO VIEJO	-34,7694	-4,90	3,27	35,19	1,38	-4,90	-11,44	56,6	59,2	58	-10	64	-16
71	ANCOA EMBALSE	-35,9106	-6,17	3,45	33,63	2,28	-6,17	-13,06	54,9	59,2	58	-10	64	-16
72	COLORADO	-35,6381	-12,32	3,65	34,84	1,50	-12,32	-19,62	56,1	58,9	58	-16	64	-22
73	DIGUA EMBALSE	-36,2558	-6,61	3,54	36,46	1,48	-6,61	-13,69	57,5	60,3	58	-10	64	-16
74	PARRAL	-36,1878	-5,11	3,87	37,23	1,89	-5,11	-12,85	58,2	61,8	64	-10	64	-16
75	PENCAHUE	-35,3725	-5,06	4,05	38,74	0,98	-5,06	-13,17	59,8	61,7	64	-10	64	-16
76	POTRERO GRANDE	-35,1833	-7,86	4,05	35,13	1,15	-7,86	-15,95	56,4	58,6	58	-10	64	-16
77	TALCA UC	-35,4358	-6,25	3,88	35,54	1,68	-6,25	-14,01	56,8	60,0	58	-10	64	-16
78	CARACOL	-36,6511	-5,15	2,81	33,59	3,09	-5,15	-10,76	54,7	60,6	58	-10	64	-16
79	COIHUECO EMBALSE	-36,6408	-7,34	3,87	39,79	2,06	-7,34	-15,07	60,6	64,5	64	-10	70	-16
80	DIGUILLIN	-36,8686	-6,23	3,23	34,03	1,44	-6,23	-12,70	55,0	57,8	58	-10	58	-16
81	QUILACO	-37,6850	-7,98	4,22	37,12	1,51	-7,98	-16,42	57,8	60,7	58	-10	64	-22
82	LIUCURA	-38,6517	-28,84	4,48	39,22	1,44	-28,84	-37,80	59,6	62,3	64	-34	64	-40
83	LONQUIMAY	-38,4536	-24,91	4,01	35,97	1,32	-24,91	-32,93	56,5	59,1	58	-28	64	-34
84	MALALCAHUELLO	-38,4703	-15,79	3,38	32,46	2,90	-15,79	-22,54	53,2	58,7	58	-16	64	-28
85	PUCON	-39,2753	-4,40	3,09	33,95	5,18	-4,40	-10,58	54,4	64,3	58	-10	70	-16
86	PUERTO SAAVEDRA	-38,7886	-4,34	3,08	30,76	0,63	-4,34	-10,51	51,5	52,7	52	-10	58	-16
87	TEODORO SCHMITD	-39,0278	-6,16	3,48	31,36	1,45	-6,16	-13,11	52,0	54,8	52	-10	58	-16
88	TRAIGUE	-38,2561	-8,35	3,64	34,88	3,15	-8,35	-15,62	55,5	61,5	58	-10	64	-16
89	ADOLFO MATTHEI	-40,5883	-7,01	3,90	32,30	3,46	-7,01	-14,80	52,5	59,1	58	-10	64	-16
90	COYHAIQUE(ESCUELA AGRICOLA)	-45,5739	-16,55	3,42	30,44	2,22	-16,55	-23,39	49,3	53,5	52	-22	58	-28
91	PUERTO PUYUHUAPI	-44,3228	-5,64	3,17	30,09	3,73	-5,64	-11,97	49,3	56,5	52	-10	58	-16
92	VILLA MAÑIHUALES	-45,1733	-14,03	3,08	33,88	3,00	-14,03	-20,19	52,7	58,4	58	-16	64	-22
93	PUNTA ARENAS	-53,1233	-10,65	2,78	23,79	3,14	-10,65	-16,21	40,2	46,2	46	-16	52	-22
94	TORRES DEL PAINE	-51,1842	-16,57	4,43	26,79	2,86	-16,57	-25,43	43,8	49,3	46	-22	52	-28

- **Asignación de un ligante asfáltico tradicional a cada estación**

Se intentará modificar lo menos posible los mapas de zonificación ya realizados, es por ello que a continuación, se presentan las estaciones a las cuales obligatoriamente se le debe cambiar el ligante asfáltico asignado por Segovia.

En la tabla 7-4 se aprecian las estaciones que cambian de ligante asfáltico.

Tabla 7- 4: Estaciones que deben cambiar de ligante tradicional por el cambio climático según modelo SHRP + escenario RCP 8.5

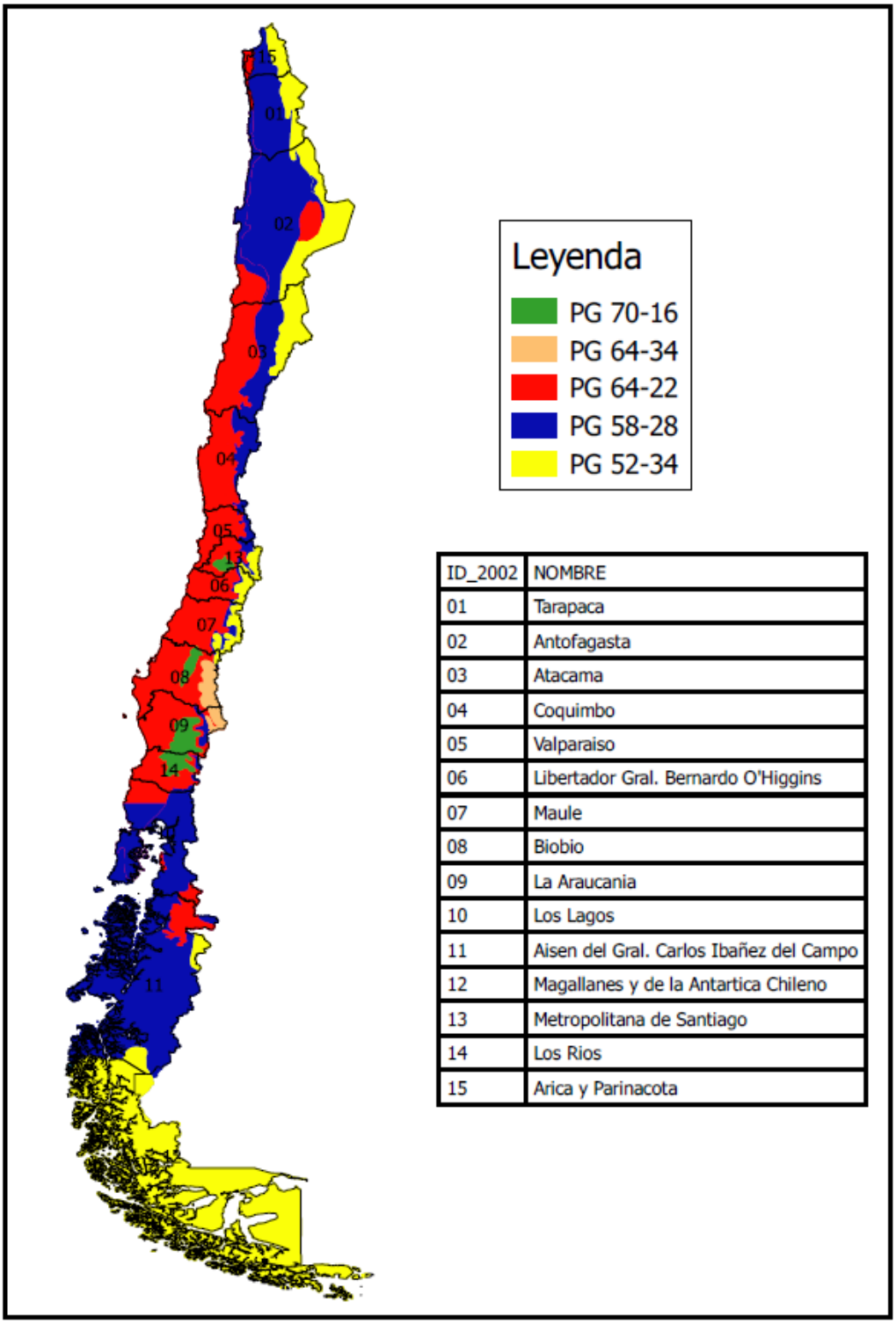
Modelo	Escenario	Confiabilidad	Estaciones que deben cambiar su ligante asfáltico	Ligante anterior	Ligante Nuevo
SHRP	RCP 8.5	50%	Peine	PG 58-28	PG 64-22
			Azapata	PG 58-28	PG 64-22
		98%	Osorno	PG 58-28	PG 64-22
			Chaitén	PG 58-28	PG 64-22
			Pirque	PG 58-28	PG 64-22
			Adolfo Matthei	PG 58-28	PG 64-22
			Palena	PG 58-28	PG 64-22
			Azapata	PG 58-28	PG 64-22
			Buitre aeródromo	PG 58-28	PG 64-22
			La Ortiga	PG 58-28	PG 64-22
			Laguna Aculeo *	PG 64-22	PG 70-16
			Colorado	PG 58-28	PG 64-22
			Potrero grande	PG 58-28	PG 64-22
			Coihueco Embalse *	PG 64-22	PG 70-16
			Malalcahuello	PG 58-28	PG 64-22
			Pucón *	PG 64-22	PG 70-16
			Mañihuales	PG 58-28	PG 64-22

*Si se mantuviera el ligante PG 64-22 para las estaciones Laguna Acúleo, Coihueco Embalse y Pucón, el ligante asfaltico fallaría con una confiabilidad de 94,95%, 95,91% y 97,38%, respectivamente.

- **Mapa se zonificación SUPERPAVE**

El mapa de zonificación para un 50% de confiabilidad es presentado en el ANEXO A, ya que la diferencia con el mapa presentado por Segovia (2015) es muy poca. Además, Chacalluta cambia de un PG 58-28 a PG 64-22, lo anterior para obtener una mayor continuidad territorial del ligante de dicha estación.

En la figura 7-2, se aprecia el mapa de zonificación SUPERPAVE de Chile, utilizando los modelos SHRP, el escenario RCP 8.5 y un 98 % de confiabilidad. Además, de las estaciones que cambian obligatoriamente de ligante asfáltico, se suman Chacalluta y Buitre Aeródromo, que pasan de un PG 58-28 a PG 64-22, lo anterior para obtener una mayor continuidad territorial del ligante de dichas estaciones.



ID_2002	NOMBRE
01	Tarapaca
02	Antofagasta
03	Atacama
04	Coquimbo
05	Valparaiso
06	Libertador Gral. Bernardo O'Higgins
07	Maule
08	Biobio
09	La Araucania
10	Los Lagos
11	Aisen del Gral. Carlos Ibañez del Campo
12	Magallanes y de la Antartica Chileno
13	Metropolitana de Santiago
14	Los Rios
15	Arica y Parinacota

**Lagunillas PG 52-34: No cumple el grado de baja temperatura con una confiabilidad de 96,3%.*
**Liucura 64-34: No cumple el grado de baja temperatura con una confiabilidad de 87,5%.*
**Balmaceda 52-34: No cumple los grados de alta y baja temperatura con una confiabilidad de 76% y 95% respectivamente.*

****Mapa para condiciones de circulación de alta velocidad y volumen de tránsito bajo según el anexo C.***

Figura 7- 2: Zonificación SUPERPAVE para Chile utilizando los modelos SHRP, escenario RCP 8.5 y 98% de confiabilidad.

7.2 Método LTPP 2.1

Este método es explicado en más detalle en el capítulo 3, en el mismo capítulo se calculan los grados de desempeño para el periodo actual, según el modelo LTPP 2.1, estos datos serán comparados con los resultantes de este punto.

Los grados de desempeño para cada estación se calcularán, utilizando los modelos LTPP 2.1 para cada escenario futuro. Se seguirán los mismos procedimientos descritos en el capítulo 3.

7.2.1 Escenario RCP 2.6

Se utilizará el escenario RCP 2.6 para cuantificar el cambio climático, es decir, a los datos de temperaturas extremas obtenidos en el capítulo 3, se les aplicará el delta climático, asociado a este escenario.

- **Cálculo del grado de desempeño teórico**

Se comienza con el cálculo de la temperatura del pavimento para cada estación, aplicando los deltas climáticos a las temperaturas calculadas con la metodología LTPP 2.1, además de asignarle el respectivo PG teórico. Lo anterior se muestra en la tabla 7-5.

Tabla 7- 5: Clasificación SUPERPAVE para Chile por estación, según el modelo LTPP 2.1 + escenario RCP 2.6.

Estaciones			Temperatura aire				Temperatura del pavimento				PG LTPP 2.1			
							T° min LTPP 2.1		T° max LTPP 2.1		Alta	Baja	Alta	Baja
Número	Nombre	Latitud	T° min	Desv Min aire	T° max promedio 7 dias	Desv Max aire	50%	98%	50%	98%	50%		98%	
1	CHACALLUTA, ARICA AEROPUERTO	-18,3514	7,44	2,06	32,30	0,50	11,2	5,9	53,6	59,9	58	-10	64	-10
2	DIEGO ARACENA IQUIQUE AP	-20,5467	8,71	1,67	29,63	0,53	11,8	6,8	51,3	57,6	52	-10	58	-10
3	EL LOA, CALAMA AD	-22,4953	-11,49	2,96	29,87	1,49	-3,1	-9,2	51,3	57,9	52	-10	58	-10
4	CERRO MORENO ANTOFAGASTA AP	-23,4503	0,80	1,84	27,94	0,98	5,6	0,5	49,7	56,1	52	-10	58	-10
5	LA FLORIDA, LA SERENA AD	-29,9172	0,36	2,36	25,84	0,44	3,9	-1,7	47,2	53,4	52	-10	58	-10
6	SANTO DOMINGO, AD	-33,6550	-5,00	3,51	26,13	1,33	-0,9	-7,7	46,8	53,4	52	-10	58	-10
7	QUINTA NORMAL, SANTIAGO	-33,4450	-3,28	3,21	34,28	1,56	0,4	-6,1	53,2	59,9	58	-10	64	-10
8	EULOGIO SANCHEZ, TOBALABA AD	-33,4544	-3,70	3,07	35,43	1,48	0,0	-6,2	54,1	60,7	58	-10	64	-10
9	PUDAHUEL SANTIAGO	-33,5419	-6,55	3,71	34,45	1,08	-2,0	-9,0	53,4	59,8	58	-10	64	-10
10	GENERAL FREIRE, CURICO AD	-34,9664	-6,63	3,80	34,84	1,87	-2,5	-9,6	53,4	60,3	58	-10	64	-10
11	BERNARDO O'HIGGINS, CHILLAN AD	-36,5872	-7,33	3,88	34,70	1,98	-3,4	-10,6	53,0	59,9	58	-10	64	-16
12	CARRIEL SUR, CONCEPCION	-36,7792	-4,54	3,78	27,71	4,28	-1,5	-8,6	47,5	56,7	52	-10	58	-10
13	MANQUEHUE, TEMUCO AD	-38,7700	-8,70	4,14	32,17	5,32	-5,1	-12,6	50,6	61,2	52	-10	64	-16
14	PICHOY, VALDIVIA AD	-39,6511	-7,58	4,14	32,05	3,22	-4,6	-12,0	50,4	58,4	52	-10	64	-16
15	CAÑAL BAJO, OSORNO AD	-40,6050	-8,13	4,18	31,61	3,25	-5,3	-12,8	49,8	57,9	52	-10	58	-16
16	EL TEPUAL PUERTO MONTT, AP	-41,4350	-6,18	3,85	27,70	3,04	-4,1	-11,3	46,6	54,5	52	-10	58	-16
17	CHAITEN AD	-42,9311	-5,18	3,38	26,70	6,03	-3,9	-10,5	45,5	57,0	46	-10	58	-16
18	FUTALEUFU AD	-43,1892	-9,95	3,48	31,28	2,69	-7,4	-14,2	49,0	56,6	52	-10	58	-16
19	ALTO PALENA AD	-43,6117	-10,18	3,22	32,62	2,86	-7,7	-14,2	50,0	57,7	52	-10	58	-16
20	PUERTO AYSEN AD	-45,3961	-7,87	2,93	27,43	3,10	-6,7	-12,8	45,5	53,5	46	-10	58	-16
21	TENIENTE VIDAL, COYHAIQUE AD	-45,5939	-18,33	3,65	30,95	3,60	-14,3	-21,2	48,2	56,7	52	-16	58	-22
22	BALMACEDA AD	-45,9125	-26,68	4,69	30,05	2,10	-20,5	-28,6	47,5	54,5	52	-22	58	-34
23	CHILE CHICO AD	-46,9086	-12,18	3,58	30,21	3,36	-10,4	-17,2	47,4	55,5	52	-16	58	-22
24	LORD COCHRANE AD	-47,2444	-15,08	3,15	30,83	3,78	-12,6	-18,9	47,8	56,4	52	-16	58	-22
25	CARLOS IBAÑEZ, PUNTA ARENAS AP	-53,0050	-16,87	2,97	23,39	2,53	-16,2	-22,3	40,5	47,9	46	-22	52	-28
26	GUARDIA MARINA ZAÑARTU, PUERTO WILLIAMS AD	-54,9317	-10,63	2,70	21,00	3,08	-12,5	-18,4	38,1	46,0	46	-16	52	-22
27	el buitre aeródromo	-18,5119	6,36	2,33	33,65	0,41	10,4	4,9	54,7	60,9	58	-10	64	-10
28	AZAPATA	-18,5156	1,36	2,65	34,88	0,04	6,8	1,0	55,6	61,8	58	-10	64	-10
29	CHUNGARA AJATA	-18,2353	-11,75	2,62	21,54	2,76	-2,6	-8,4	45,3	52,9	46	-10	58	-10
30	CODPA	-18,8322	-0,56	2,31	28,47	1,19	5,4	-0,1	50,6	57,1	52	-10	58	-10
31	COYACAGUA	-20,0531	-20,20	3,82	25,47	1,18	-9,0	-16,1	48,2	54,6	52	-10	58	-22
32	LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA)	-19,9333	-23,83	5,85	23,66	1,42	-11,6	-21,2	46,7	53,3	52	-16	58	-22
33	CASPANA	-22,3367	-6,83	2,63	26,70	2,13	0,3	-5,5	48,9	55,9	52	-10	58	-10
34	CHIU-CHIU	-22,3378	-12,60	3,44	29,03	2,19	-3,9	-10,6	50,7	57,8	52	-10	58	-16
35	CONCHI EMBALSE	-22,0250	-13,94	3,69	29,23	1,86	-4,8	-11,7	50,9	57,7	52	-10	58	-16
36	LINZOR	-22,2297	-17,15	3,11	21,88	0,69	-7,1	-13,4	45,1	51,4	46	-10	52	-16
37	PARSHALL N 2	-21,9428	-13,71	3,20	26,55	0,80	-4,6	-11,0	48,8	55,1	52	-10	58	-16
38	PEINE	-23,6842	-2,38	2,55	36,50	1,10	3,2	-2,5	56,4	62,8	58	-10	64	-10
39	CANTO DE AGUA	-28,0992	-6,95	3,67	32,84	2,72	-1,0	-7,9	52,9	60,5	58	-10	64	-10
40	LA COMPAÑÍA (VALLENAR)	-28,5761	-1,33	2,54	30,52	1,08	3,0	-2,7	51,1	57,5	52	-10	58	-10
41	LAUTARO EMBALSE	-27,9783	-5,60	3,82	36,06	0,58	0,0	-7,1	55,5	61,7	58	-10	64	-10
42	LOS LOROS	-27,8317	-2,64	2,85	36,23	0,88	2,2	-3,8	55,6	61,9	58	-10	64	-10
43	SAN FELIX	-28,9311	-3,61	3,01	37,70	0,86	1,2	-5,0	56,6	62,9	58	-10	64	-10
44	SANTA JUANA	-28,6672	-0,23	2,78	33,38	1,26	3,7	-2,2	53,3	59,8	58	-10	64	-10
45	CAREN	-30,8547	-2,11	3,14	35,90	1,72	1,9	-4,5	54,9	61,7	58	-10	64	-10
46	COGOTI EMBALSE	-31,0078	-3,21	2,78	32,97	1,71	1,0	-4,9	52,6	59,3	58	-10	64	-10
47	EL TRAPICHE	-29,3731	-2,45	2,37	31,06	1,11	2,0	-3,6	51,4	57,8	52	-10	58	-10

Tabla 7- 5: Clasificación SUPERPAVE para Chile por estación, según el modelo LTPP 2.1 + escenario RCP 2.6 (continuación).

Estaciones			Temperatura aire				Temperatura del pavimento				PG LTPP 2.1			
Número	Nombre	Latitud	T° min	Desv Min aire	T° max promedio 7 dias	Desv Max aire	T° min LTPP 2.1		T° max LTPP 2.1		Alta	Baja	Alta	Baja
							50%	98%	50%	98%	50%		98%	
48	HURTADO	-30,2867	-3,61	3,88	33,78	1,51	0,9	-6,3	53,3	60,0	58	-10	64	-10
49	ILLAPEL DGA	-31,6450	-2,18	2,81	32,80	0,88	1,6	-4,4	52,4	58,7	58	-10	64	-10
50	LA LAGUNA EMBALSE	-30,2033	-19,05	3,65	32,11	1,11	-10,2	-17,1	52,1	58,5	58	-16	64	-22
51	LA ORTIGA	-30,1939	-4,79	3,46	32,95	0,92	0,1	-6,6	52,7	59,1	58	-10	64	-10
52	LA TRANQUILLA	-31,9000	-3,95	3,25	35,65	1,65	0,3	-6,2	54,5	61,3	58	-10	64	-10
53	LAS RAMADAS	-31,0181	-6,85	3,81	34,47	1,86	-1,6	-8,7	53,8	60,6	58	-10	64	-10
54	LOS CONDORES	-32,1086	-3,24	2,46	30,80	3,37	0,7	-4,9	50,7	58,9	52	-10	64	-10
55	PALOMA EMBALSE	-30,6958	-0,37	2,53	33,69	1,81	3,2	-2,6	53,2	60,0	58	-10	64	-10
56	RECOLETA EMBALSE	-30,5069	0,63	2,26	31,81	0,62	3,9	-1,5	51,8	58,0	52	-10	64	-10
57	RIVADAVIA	-29,9772	-9,21	3,32	34,41	1,43	-3,0	-9,6	53,9	60,5	58	-10	64	-10
58	ALICAHUE	-32,3408	-4,06	3,04	32,78	3,81	0,1	-6,2	52,2	60,9	58	-10	64	-10
59	LAGO PEÑUELAS	-33,1450	-4,68	3,24	29,81	2,06	-0,6	-7,0	49,8	56,8	52	-10	58	-10
60	LLIU-LLIU EMBALSE	-33,0986	-1,99	2,85	35,33	2,64	1,4	-4,7	54,1	61,6	58	-10	64	-10
61	LOS AROMOS	-32,9578	-3,01	3,01	33,09	1,32	0,7	-5,5	52,4	58,9	58	-10	64	-10
62	QUILLOTA	-32,8958	-5,00	3,52	35,21	3,18	-0,7	-7,5	54,0	62,1	58	-10	64	-10
63	VILCUYA	-32,8603	-8,51	3,60	35,32	1,91	-3,3	-10,1	54,1	61,0	58	-10	64	-16
64	CERRO CALAN	-33,3950	-2,03	3,14	36,53	1,39	1,3	-5,1	55,0	61,6	58	-10	64	-10
65	EL YESO EMBALSE	-33,6767	-16,13	4,10	27,58	0,76	-9,0	-16,4	48,0	54,3	52	-10	58	-22
66	LAGUNA ACULEO	-33,8858	-5,34	3,71	34,33	1,27	-1,2	-8,2	53,2	59,7	58	-10	64	-10
67	LOS PANGUILES	-33,4386	-3,44	3,31	35,05	1,35	0,2	-6,3	53,8	60,4	58	-10	64	-10
68	MELIPILLA	-33,6803	-2,49	3,16	32,56	2,51	0,9	-5,5	51,9	59,2	52	-10	64	-10
69	PIRQUE	-33,6736	-9,62	3,70	34,01	1,74	-4,3	-11,2	53,0	59,7	58	-10	64	-16
70	CONVENIO VIEJO	-34,7694	-5,59	3,26	34,19	1,35	-1,7	-8,1	52,9	59,5	58	-10	64	-10
71	ANCOA EMBALSE	-35,9106	-7,45	3,45	32,79	1,25	-3,3	-10,0	51,6	58,1	52	-10	64	-16
72	COLORADO	-35,6381	-12,98	3,65	33,91	1,47	-7,2	-14,1	52,6	59,2	58	-10	64	-16
73	DIGUA EMBALSE	-36,2558	-7,17	3,53	36,09	1,48	-3,2	-10,0	54,2	60,8	58	-10	64	-16
74	PARRAL	-36,1878	-5,70	3,87	36,14	1,77	-2,2	-9,3	54,2	61,0	58	-10	64	-10
75	PENCAHUE	-35,3725	-5,57	4,04	37,93	0,71	-1,8	-9,2	55,7	62,0	58	-10	64	-10
76	POTRERO GRANDE	-35,1833	-9,12	3,99	34,07	1,15	-4,3	-11,6	52,8	59,2	58	-10	64	-16
77	TALCA UC	-35,4358	-6,97	3,88	34,39	1,68	-2,9	-10,0	53,0	59,7	58	-10	64	-16
78	CARACOL	-36,6511	-6,14	2,79	32,94	1,94	-2,6	-8,6	51,6	58,5	52	-10	64	-10
79	COIHUECO EMBALSE	-36,6408	-8,09	3,86	38,80	2,02	-4,0	-11,2	56,2	63,2	58	-10	64	-16
80	DIGUILLIN	-36,8686	-7,03	3,23	33,60	1,44	-3,3	-9,8	52,1	58,7	58	-10	64	-10
81	QUILACO	-37,6850	-8,64	4,22	36,10	1,37	-4,7	-12,3	53,9	60,4	58	-10	64	-16
82	LIUCURA	-38,6517	-29,21	4,47	38,55	1,44	-19,8	-27,7	55,6	62,2	58	-22	64	-28
83	LONQUIMAY	-38,4536	-25,55	4,00	35,09	2,79	-17,1	-24,4	53,0	60,6	58	-22	64	-28
84	MALALCAHUELLO	-38,4703	-16,59	3,38	31,63	2,75	-10,7	-17,3	50,3	57,8	52	-16	58	-22
85	PUCON	-39,2753	-5,24	3,09	33,48	4,47	-2,8	-9,0	51,5	61,0	52	-10	64	-10
86	PUERTO SAAVEDRA	-38,7886	-4,88	3,08	30,48	0,63	-2,3	-8,6	49,3	55,5	52	-10	58	-10
87	TEODORO SCHMITD	-39,0278	-6,54	3,47	30,37	1,26	-3,6	-10,3	49,2	55,7	52	-10	58	-16
88	TRAIGUE	-38,2561	-8,79	3,64	34,41	3,15	-5,0	-11,9	52,5	60,4	58	-10	64	-16
89	ADOLFO MATTHEI	-40,5883	-7,49	3,91	31,63	3,30	-4,8	-12,0	49,8	58,0	52	-10	58	-16
90	COYHAIQUE(ESCUELA AGRICOLA)	-45,5739	-17,13	3,41	30,11	2,22	-13,5	-20,1	47,6	54,7	52	-16	58	-22
91	PUERTO PUYUHUAPI	-44,3228	-6,58	3,17	29,04	3,73	-5,4	-11,8	47,0	55,6	52	-10	58	-16
92	VILLA MAÑIHUALES	-45,1733	-15,00	3,09	32,81	3,00	-11,8	-18,1	49,8	57,6	52	-16	58	-22
93	PUNTA ARENAS	-53,1233	-10,97	2,79	23,69	3,14	-12,0	-18,0	40,7	48,7	46	-16	52	-22
94	TORRES DEL PAINE	-51,1842	-17,49	4,43	26,14	2,86	-15,9	-23,7	43,1	50,8	46	-16	52	-28

- **Asignación de un ligante asfáltico tradicional a cada estación**

Se intentará modificar lo menos posible los mapas de zonificación ya realizados, es por ello que a continuación, se presentan las estaciones a las cuales obligatoriamente se le debe cambiar el ligante asfáltico asignado en el punto 3.4.

En la tabla 7-6, se aprecian las estaciones que cambian de ligante asfáltico.

Tabla 7- 6: Estaciones que deben cambiar de ligante tradicional por el cambio climático según modelo LTPP 2.1 + escenario RCP 2.6.

Modelo	Escenario	Confiabilidad	Estaciones que deben cambiar su ligante asfáltico	Ligante anterior	Ligante Nuevo
LTPP 2.1	RCP 2.6	50%	Ninguna	-	-
		98%	Laguna embalse	PG 58-28	PG 64-22

- **Mapa se zonificación SUPERPAVE**

El mapa de zonificación para un 50% de confiabilidad no presenta cambios, en comparación al presentado en el punto 3.5 del presente trabajo.

El mapa de zonificación para un 98% de confiabilidad es presentado en el ANEXO A, ya que la diferencia con el mapa presentado en el punto 3.5 es muy poca.

7.2.2 Escenario RCP 8.5

Se utilizará el escenario RCP 8.5 para cuantificar el cambio climático, es decir, a los datos de temperaturas extremas obtenidos en el capítulo 3, se les aplicará el delta climático, asociado a este escenario.

- Cálculo del grado de desempeño teórico

Se comienza con el cálculo de la temperatura del pavimento para cada estación, aplicando los deltas climáticos a las temperaturas calculadas con la metodología LTPP 2.1, además de asignarle el respectivo PG teórico. Lo anterior se muestra en la tabla 7-7.

Tabla 7- 7: Clasificación SUPERPAVE para Chile por estación, según el modelo LTPP 2.1 + escenario RCP 8.5.

Estaciones			Temperatura aire				Temperatura del pavimento				PG LTPP 2.1			
Número	Nombre	Latitud	T° min	Desv Min aire	T° max promedio 7 dias	Desv Max aire	T° min LTPP 2.1		T° max LTPP 2.1		Alta	Baja	Alta	Baja
							50%	98%	50%	98%	50%		98%	
1	CHACALLUTA, ARICA AEROPUERTO	-18,3514	7,78	2,04	32,80	0,50	11,4	6,2	54,0	60,3	58	-10	64	-10
2	DIEGO ARACENA IQUIQUE AP	-20,5467	9,14	1,66	30,38	0,54	12,1	7,1	51,9	58,2	52	-10	64	-10
3	EL LOA, CALAMA AD	-22,4953	-10,77	2,95	30,37	0,90	-2,6	-8,7	51,7	58,0	52	-10	64	-10
4	CERRO MORENO ANTOFAGASTA AP	-23,4503	1,41	1,82	28,53	1,96	6,0	0,9	50,2	57,1	52	-10	58	-10
5	LA FLORIDA, LA SERENA AD	-29,9172	1,29	2,36	26,19	0,44	4,5	-1,0	47,5	53,7	52	-10	58	-10
6	SANTO DOMINGO, AD	-33,6550	-4,40	3,53	26,39	1,33	-0,5	-7,3	47,0	53,6	52	-10	58	-10
7	QUINTA NORMAL, SANTIAGO	-33,4450	-2,57	3,23	34,95	1,69	0,9	-5,6	53,8	60,5	58	-10	64	-10
8	EULOGIO SANCHEZ, TOBALABA AD	-33,4544	-2,98	3,05	36,65	2,12	0,6	-5,7	55,1	62,1	58	-10	64	-10
9	PUDAHUEL SANTIAGO	-33,5419	-5,77	3,73	35,09	1,71	-1,5	-8,5	53,8	60,6	58	-10	64	-10
10	GENERAL FREIRE, CURICO AD	-34,9664	-6,05	3,80	35,32	1,19	-2,1	-9,2	53,8	60,2	58	-10	64	-10
11	BERNARDO O'HIGGINS, CHILLAN AD	-36,5872	-6,76	3,88	35,83	1,62	-3,0	-10,2	53,9	60,6	58	-10	64	-16
12	CARRIEL SUR, CONCEPCION	-36,7792	-4,15	3,79	28,01	4,28	-1,2	-8,3	47,8	57,0	52	-10	58	-10
13	MANQUEHUE, TEMUCO AD	-38,7700	-8,30	4,15	33,06	4,37	-4,8	-12,3	51,3	60,7	52	-10	64	-16
14	PICHOY, VALDIVIA AD	-39,6511	-7,24	4,14	32,51	5,60	-4,3	-11,8	50,7	61,6	52	-10	64	-16
15	CAÑAL BAJO, OSORNO AD	-40,6050	-7,74	4,18	32,13	3,54	-5,0	-12,5	50,2	58,6	52	-10	64	-16
16	EL TEPUAL PUERTO MONTT, AP	-41,4350	-5,81	3,84	28,03	3,17	-3,9	-11,0	46,9	54,9	52	-10	58	-16
17	CHAITEN AD	-42,9311	-4,20	3,38	26,82	6,03	-3,2	-9,8	45,6	57,1	46	-10	58	-10
18	FUTALEUFU AD	-43,1892	-9,57	3,50	31,51	2,69	-7,2	-13,9	49,2	56,7	52	-10	58	-16
19	ALTO PALENA AD	-43,6117	-9,33	3,22	33,49	2,93	-7,1	-13,6	50,7	58,4	52	-10	64	-16
20	PUERTO AYSEN AD	-45,3961	-7,00	2,93	28,15	3,10	-6,1	-12,2	46,1	54,0	52	-10	58	-16
21	TENIENTE VIDAL, COYHAIQUE AD	-45,5939	-17,75	3,65	32,03	3,60	-13,9	-20,8	49,1	57,5	52	-16	58	-22
22	BALMACEDA AD	-45,9125	-26,20	4,69	30,87	3,62	-20,1	-28,3	48,1	56,6	52	-22	58	-34
23	CHILE CHICO AD	-46,9086	-11,05	3,60	30,69	3,36	-9,6	-16,4	47,7	55,9	52	-10	58	-22
24	LORD COCHRANE AD	-47,2444	-14,16	3,13	31,77	3,78	-11,9	-18,3	48,5	57,1	52	-16	58	-22
25	CARLOS IBAÑEZ, PUNTA ARENAS AP	-53,0050	-16,55	2,95	23,59	2,53	-16,0	-22,1	40,7	48,0	46	-16	52	-28
26	GUARDIA MARINA ZAÑARTU, PUERTO WILLIAMS AD	-54,9317	-10,26	2,69	21,36	3,08	-12,3	-18,1	38,4	46,3	46	-16	52	-22
27	el buitre aeródromo	-18,5119	6,90	2,33	34,35	0,41	10,8	5,3	55,2	61,4	58	-10	64	-10
28	AZAPATA	-18,5156	2,05	2,65	35,44	0,04	7,3	1,5	56,1	62,2	58	-10	64	-10
29	CHUNGARA AJATA	-18,2353	-11,31	2,65	22,06	2,76	-2,3	-8,1	45,7	53,3	46	-10	58	-10
30	CODPA	-18,8322	-0,54	2,33	29,15	0,50	5,4	-0,1	51,1	57,4	52	-10	58	-10
31	COYACAGUA	-20,0531	-19,86	3,83	26,29	1,18	-8,7	-15,8	48,8	55,2	52	-10	58	-16
32	LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA)	-19,9333	-23,55	5,86	24,31	1,42	-11,4	-21,0	47,3	53,8	52	-16	58	-22
33	CASPANA	-22,3367	-5,70	2,63	27,50	1,25	1,1	-4,7	49,5	56,0	52	-10	58	-10
34	CHIU-CHIU	-22,3378	-12,16	3,44	29,65	0,75	-3,6	-10,2	51,2	57,4	52	-10	58	-16
35	CONCHI EMBALSE	-22,0250	-13,95	3,67	29,73	1,86	-4,8	-11,7	51,3	58,1	52	-10	64	-16
36	LINZOR	-22,2297	-16,37	3,10	22,66	0,69	-6,6	-12,9	45,7	52,0	46	-10	52	-16
37	PARSHALL N 2	-21,9428	-13,76	3,20	27,04	0,80	-4,6	-11,0	49,2	55,5	52	-10	58	-16
38	PEINE	-23,6842	-2,28	2,65	36,80	1,10	3,3	-2,5	56,6	63,0	58	-10	64	-10
39	CANTO DE AGUA	-28,0992	-6,38	3,66	33,63	2,72	-0,6	-7,5	53,6	61,1	58	-10	64	-10
40	LA COMPAÑÍA (VALLENAR)	-28,5761	-0,80	2,53	31,24	1,08	3,3	-2,4	51,6	58,0	52	-10	64	-10
41	LAUTARO EMBALSE	-27,9783	-5,14	3,84	36,49	0,80	0,4	-6,8	55,8	62,1	58	-10	64	-10
42	LOS LOROS	-27,8317	-2,23	2,85	36,75	1,05	2,5	-3,6	56,0	62,4	58	-10	64	-10
43	SAN FELIX	-28,9311	-3,21	3,03	38,55	0,86	1,5	-4,7	57,3	63,6	58	-10	64	-10
44	SANTA JUANA	-28,6672	0,72	2,78	34,24	0,90	4,4	-1,5	53,9	60,3	58	-10	64	-10
45	CAREN	-30,8547	-1,37	3,10	35,98	1,72	2,4	-3,9	55,0	61,7	58	-10	64	-10
46	COGOTI EMBALSE	-31,0078	-2,68	2,81	33,44	2,70	1,4	-4,6	53,0	60,5	58	-10	64	-10
47	EL TRAPICHE	-29,3731	-1,97	2,37	31,33	1,11	2,3	-3,2	51,6	58,0	52	-10	58	-10

Tabla 7-7: Clasificación SUPERPAVE para Chile por estación, según el modelo LTPP 2.1 + escenario RCP 8.5 (continuación).

Estaciones			Temperatura aire				Temperatura del pavimento				PG LTPP 2.1			
							T° min LTPP 2.1		T° max LTPP 2.1		Alta	Baja	Alta	Baja
Número	Nombre	Latitud	T° min	Desv Min aire	T° max promedio 7 dias	Desv Max aire	50%	98%	50%	98%	50%		98%	
48	HURTADO	-30,2867	-2,81	3,88	34,13	1,51	1,5	-5,7	53,6	60,2	58	-10	64	-10
49	ILLAPEL DGA	-31,6450	-1,49	2,83	33,41	2,30	2,1	-3,9	52,8	60,0	58	-10	64	-10
50	LA LAGUNA EMBALSE	-30,2033	-18,20	3,60	32,89	1,11	-9,6	-16,4	52,7	59,1	58	-10	64	-22
51	LA ORTIGA	-30,1939	-3,87	3,41	33,74	1,55	0,8	-5,9	53,3	60,0	58	-10	64	-10
52	LA TRANQUILLA	-31,9000	-2,80	3,23	36,26	1,62	1,1	-5,3	55,0	61,7	58	-10	64	-10
53	LAS RAMADAS	-31,0181	-6,17	3,81	35,28	1,86	-1,1	-8,2	54,4	61,3	58	-10	64	-10
54	LOS CONDORES	-32,1086	-2,55	2,48	31,35	3,37	1,2	-4,4	51,2	59,4	52	-10	64	-10
55	PALOMA EMBALSE	-30,6958	0,40	2,58	33,91	1,81	3,7	-2,0	53,4	60,2	58	-10	64	-10
56	RECOLETA EMBALSE	-30,5069	1,92	2,24	32,53	0,62	4,8	-0,6	52,3	58,6	58	-10	64	-10
57	RIVADAVIA	-29,9772	-8,47	3,27	35,19	1,49	-2,5	-9,0	54,5	61,1	58	-10	64	-10
58	ALICAHUE	-32,3408	-3,45	3,05	33,58	3,99	0,5	-5,7	52,9	61,8	58	-10	64	-10
59	LAGO PEÑUELAS	-33,1450	-4,14	3,25	30,31	2,00	-0,2	-6,6	50,2	57,1	52	-10	58	-10
60	LLIU-LLIU EMBALSE	-33,0986	-1,46	2,87	36,01	2,64	1,8	-4,3	54,6	62,1	58	-10	64	-10
61	LOS AROMOS	-32,9578	-2,35	3,02	33,55	1,32	1,2	-5,1	52,7	59,3	58	-10	64	-10
62	QUILLOTA	-32,8958	-4,36	3,53	35,87	3,18	-0,3	-7,1	54,6	62,6	58	-10	64	-10
63	VILCUYA	-32,8603	-7,89	3,62	36,42	1,91	-2,8	-9,7	55,0	61,9	58	-10	64	-10
64	CERRO CALAN	-33,3950	-0,79	3,14	37,64	1,30	2,2	-4,2	55,9	62,4	58	-10	64	-10
65	EL YESO EMBALSE	-33,6767	-15,15	4,13	28,16	0,76	-8,3	-15,7	48,4	54,7	52	-10	58	-16
66	LAGUNA ACULEO	-33,8858	-4,67	3,72	35,07	4,71	-0,8	-7,8	53,8	63,5	58	-10	64	-10
67	LOS PANGUILES	-33,4386	-2,87	3,32	35,78	1,35	0,7	-5,9	54,4	60,9	58	-10	64	-10
68	MELIPILLA	-33,6803	-1,82	3,17	33,24	2,51	1,3	-5,0	52,4	59,7	58	-10	64	-10
69	PIRQUE	-33,6736	-8,63	3,71	34,80	1,78	-3,6	-10,5	53,6	60,4	58	-10	64	-16
70	CONVENIO VIEJO	-34,7694	-4,90	3,27	35,19	1,38	-1,2	-7,7	53,7	60,3	58	-10	64	-10
71	ANCOA EMBALSE	-35,9106	-6,17	3,45	33,63	2,28	-2,4	-9,1	52,3	59,5	58	-10	64	-10
72	COLORADO	-35,6381	-12,32	3,65	34,84	1,50	-6,8	-13,7	53,3	59,9	58	-10	64	-16
73	DIGUA EMBALSE	-36,2558	-6,61	3,54	36,46	1,48	-2,8	-9,6	54,4	61,1	58	-10	64	-10
74	PARRAL	-36,1878	-5,11	3,87	37,23	1,89	-1,7	-8,9	55,1	61,9	58	-10	64	-10
75	PENCAHUE	-35,3725	-5,06	4,05	38,74	0,98	-1,5	-8,8	56,4	62,7	58	-10	64	-10
76	POTRERO GRANDE	-35,1833	-7,86	4,05	35,13	1,15	-3,4	-10,8	53,6	60,0	58	-10	64	-16
77	TALCA UC	-35,4358	-6,25	3,88	35,54	1,68	-2,3	-9,5	53,9	60,6	58	-10	64	-10
78	CARACOL	-36,6511	-5,15	2,81	33,59	3,09	-1,9	-7,9	52,1	60,1	58	-10	64	-10
79	COIHUECO EMBALSE	-36,6408	-7,34	3,87	39,79	2,06	-3,5	-10,6	57,0	64,0	58	-10	64	-16
80	DIGUILLIN	-36,8686	-6,23	3,23	34,03	1,44	-2,7	-9,2	52,4	59,0	58	-10	64	-10
81	QUILACO	-37,6850	-7,98	4,22	37,12	1,51	-4,2	-11,8	54,7	61,3	58	-10	64	-16
82	LIUCURA	-38,6517	-28,84	4,48	39,22	1,44	-19,6	-27,5	56,1	62,7	58	-22	64	-28
83	LONQUIMAY	-38,4536	-24,91	4,01	35,97	1,32	-16,7	-24,0	53,6	60,2	58	-22	64	-28
84	MALALCAHUELLO	-38,4703	-15,79	3,38	32,46	2,90	-10,1	-16,7	50,9	58,6	52	-16	64	-22
85	PUCON	-39,2753	-4,40	3,09	33,95	5,18	-2,1	-8,4	51,9	62,3	52	-10	64	-10
86	PUERTO SAAVEDRA	-38,7886	-4,34	3,08	30,76	0,63	-2,0	-8,2	49,5	55,8	52	-10	58	-10
87	TEODORO SCHMITD	-39,0278	-6,16	3,48	31,36	1,45	-3,3	-10,1	49,9	56,5	52	-10	58	-16
88	TRAIGUE	-38,2561	-8,35	3,64	34,88	3,15	-4,7	-11,6	52,8	60,8	58	-10	64	-16
89	ADOLFO MATTHEI	-40,5883	-7,01	3,90	32,30	3,46	-4,4	-11,6	50,4	58,7	52	-10	64	-16
90	COYHAIQUE(ESCUELA AGRICOLA)	-45,5739	-16,55	3,42	30,44	2,22	-13,0	-19,7	47,8	55,0	52	-16	58	-22
91	PUERTO PUYUHUAPI	-44,3228	-5,64	3,17	30,09	3,73	-4,7	-11,1	47,9	56,5	52	-10	58	-16
92	VILLA MAÑIHUALES	-45,1733	-14,03	3,08	33,88	3,00	-11,1	-17,4	50,6	58,4	52	-16	64	-22
93	PUNTA ARENAS	-53,1233	-10,65	2,78	23,79	3,14	-11,8	-17,7	40,8	48,8	46	-16	52	-22
94	TORRES DEL PAINE	-51,1842	-16,57	4,43	26,79	2,86	-15,2	-23,1	43,6	51,3	46	-16	52	-28

- **Asignación de un ligante asfáltico tradicional a cada estación**

Se intentará modificar lo menos posible los mapas de zonificación ya realizados, es por ello que a continuación, se presentan las estaciones a las cuales obligatoriamente se le debe cambiar el ligante asfáltico asignado en el punto 3.4.

En la tabla 7-8, se aprecian las estaciones que cambian de ligante asfáltico.

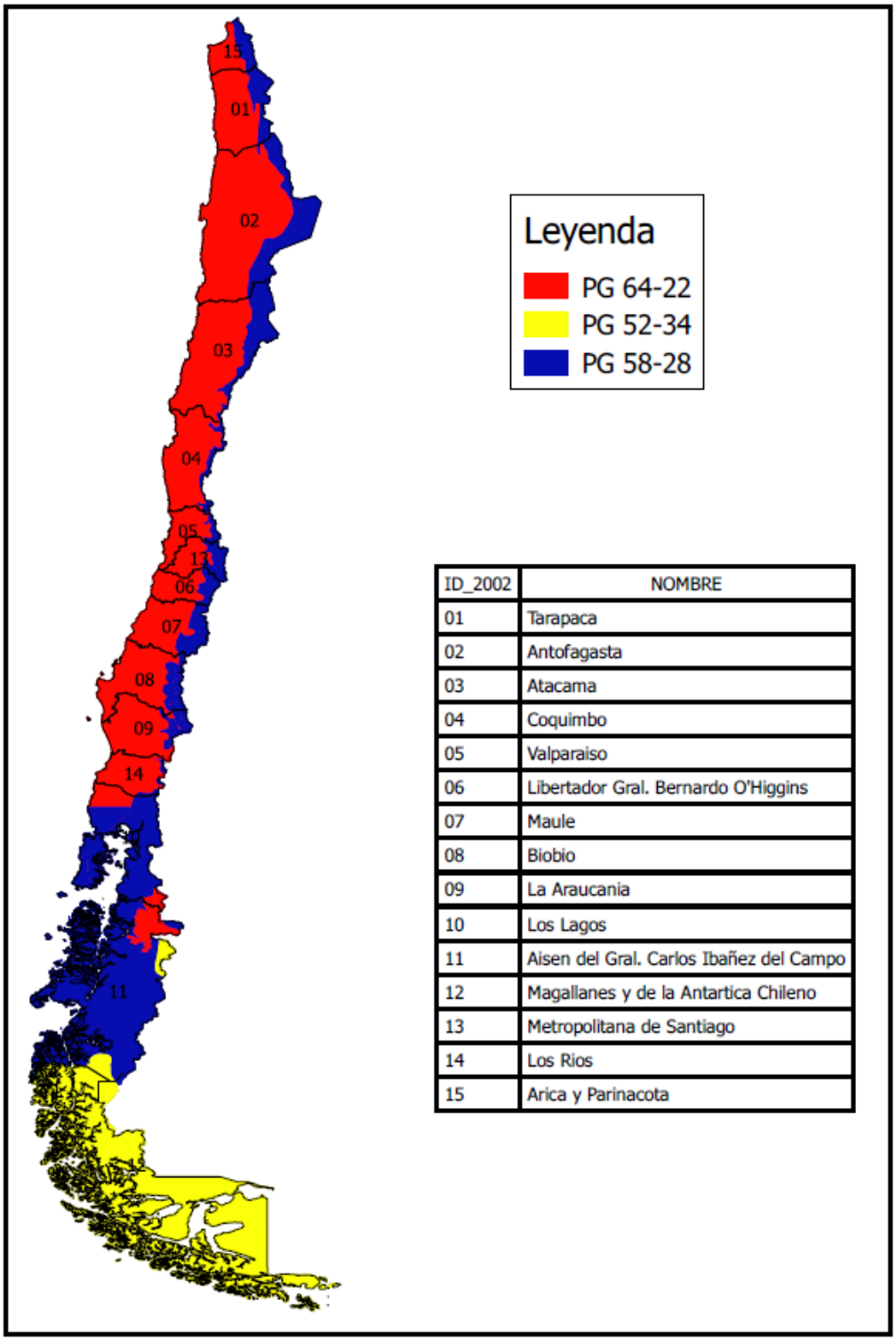
Tabla 7- 8: Estaciones que deben cambiar de ligante tradicional por el cambio climático según modelo LTPP 2.1 + escenario RCP 8.5.

Modelo	Escenario	Confiabilidad	Estaciones que deben cambiar su ligante asfáltico	Ligante anterior	Ligante Nuevo
LTPP 2.1	RCP 8.5	50%	Ninguna	-	-
		98%	Laguna embalse	PG 58-28	PG 64-22
			Alto palena	PG 58-28	PG 64-22
			Mañihuales	PG 58-28	PG 64-22
			Malalcahuello	PG 58-28	PG 64-22

- **Mapa se zonificación SUPERPAVE**

El mapa de zonificación para un 50% de confiabilidad, no presenta cambios en comparación al presentado en el punto 3.5 del presente trabajo.

En la figura 7-3 se aprecia el mapa de zonificación SUPERPAVE de Chile, utilizando los modelos LTPP 2.1, el escenario RCP 8.5 y un 98 % de confiabilidad.



ID_2002	NOMBRE
01	Tarapaca
02	Antofagasta
03	Atacama
04	Coquimbo
05	Valparaiso
06	Libertador Gral. Bernardo O'Higgins
07	Maule
08	Biobio
09	La Araucania
10	Los Lagos
11	Aisen del Gral. Carlos Ibañez del Campo
12	Magallanes y de la Antartica Chileno
13	Metropolitana de Santiago
14	Los Rios
15	Arica y Parinacota

**Balmaceda PG 52-34: No cumple el grado de alta temperatura con una confiabilidad de 83%.*
**Liucura PG 58-28: No cumple el grado de alta temperatura con una confiabilidad de 72%.*
**Lonquimay PG 58-28: No cumple el grado de alta temperatura con una confiabilidad de 91%.*
****Mapa para condiciones de circulación de alta velocidad y volumen de tránsito bajo según el anexo C.***

Figura 7- 3: Zonificación SUPERPAVE para Chile utilizando los modelos LTPP 2.1, escenario RCP 8.5 y 98% de confiabilidad.

7.3 Método basado en daño (LTPP 3.1)

Este método es explicado en más detalle en el capítulo 4, en el mismo capítulo se calculan los grados de desempeño para el periodo actual según el modelo de daño LTPP 3.1, estos resultados serán comparados con los resultantes de este punto.

Los grados de desempeño para cada estación se calcularán, utilizando el modelo basado en daño LTPP 3.1 para la alta temperatura y el modelo LTPP 2.1 para la baja, además se considerarán los dos escenarios futuros. Se seguirán los mismos procedimientos descritos en el capítulo 4.

7.3.1 Escenario RCP 2.6

Se utilizará el escenario RCP 2.6 para cuantificar el cambio climático, es decir, a los datos de temperaturas extremas obtenidos en el capítulo 3, se les aplicará el delta climático, asociado a este escenario.

- **Cálculo del grado de desempeño teórico**

Se comienza con el cálculo de la temperatura del pavimento para cada estación, aplicando los deltas climáticos a las temperaturas calculadas con la metodología LTPP 3.1, además de asignarle el respectivo PG teórico. Lo anterior se muestra en la tabla 7-9.

Tabla 7- 9: Clasificación SUPERPAVE para Chile por estación, según el modelo basado en daño LTPP 3.1 + escenario RCP 2.6.

Estaciones		Latitud	DD promedio[1000°C-Dias]	Temperatura pavimento				PG Modelo de daño LTPP 3.1			
				T° max modelo de daño LTPP 3.1		T° min modelo de daño LTPP 3.1		Alta	Baja	Alta	Baja
Número	Nombre			50%	98%	50%	98%	50%		98%	
1	CHACALLUTA, ARICA AEROPUERTO	-18,3514	2,86	55,36	55,37	11,20	5,92	58	-10	58	-10
2	DIEGO ARACENA IQUIQUE AP	-20,5467	2,62	53,31	53,31	11,77	6,81	58	-10	58	-10
3	EL LOA, CALAMA AD	-22,4953	2,85	55,32	55,36	-3,10	-9,25	58	-10	58	-10
4	CERRO MORENO ANTOFAGASTA AP	-23,4503	2,27	50,01	50,07	5,57	0,46	52	-10	52	-10
5	LA FLORIDA, LA SERENA AD	-29,9172	1,88	46,12	46,61	3,87	-1,68	52	-10	52	-10
6	SANTO DOMINGO, AD	-33,6550	1,84	45,73	46,67	-0,94	-7,69	46	-10	52	-10
7	QUINTA NORMAL, SANTIAGO	-33,4450	3,27	58,73	59,89	0,36	-6,06	64	-10	64	-10
8	EULOGIO SANCHEZ, TOBALABA AD	-33,4544	3,35	59,35	60,53	0,05	-6,22	64	-10	64	-10
9	PUDAHUEL SANTIAGO	-33,5419	3,26	58,62	59,79	-2,03	-9,01	64	-10	64	-10
10	GENERAL FREIRE, CURICO AD	-34,9664	3,09	57,30	58,70	-2,48	-9,57	58	-10	64	-10
11	BERNARDO O'HIGGINS, CHILLAN AD	-36,5872	2,88	55,57	57,24	-3,44	-10,62	58	-10	58	-16
12	CARRIEL SUR, CONCEPCION	-36,7792	1,98	47,12	48,56	-1,49	-8,56	52	-10	52	-10
13	MANQUEHUE, TEMUCO AD	-38,7700	2,15	48,86	50,74	-5,08	-12,59	52	-10	52	-16
14	PICHOY, VALDIVIA AD	-39,6511	2,01	47,42	49,42	-4,56	-12,05	52	-10	52	-16
15	CAÑAL BAJO, OSORNO AD	-40,6050	1,86	45,93	48,06	-5,26	-12,81	46	-10	52	-16
16	EL TEPUAL PUERTO MONTT, AP	-41,4350	1,64	43,60	45,79	-4,13	-11,28	46	-10	46	-16
17	CHAITEN AD	-42,9311	1,15	38,01	40,19	-3,91	-10,52	46	-10	46	-16
18	FUTALEUFU AD	-43,1892	1,73	44,54	47,16	-7,44	-14,16	46	-10	52	-16
19	ALTO PALENA AD	-43,6117	1,63	43,51	46,16	-7,74	-14,17	46	-10	52	-16
20	PUERTO AYSEN AD	-45,3961	1,17	38,28	40,97	-6,72	-12,84	46	-10	46	-16
21	TENIENTE VIDAL, COYHAIQUE AD	-45,5939	1,36	40,52	43,42	-14,32	-21,23	46	-16	46	-22
22	BALMACEDA AD	-45,9125	1,14	37,95	40,73	-20,45	-28,63	46	-22	46	-34
23	CHILE CHICO AD	-46,9086	1,89	46,19	49,84	-10,38	-17,22	52	-16	52	-22
24	LORD COCHRANE AD	-47,2444	1,53	42,32	45,75	-12,59	-18,94	46	-16	46	-22
25	CARLOS IBAÑEZ, PUNTA ARENAS AP	-53,0050	0,98	35,96	40,23	-16,19	-22,35	46	-22	46	-28
26	GUARDIA MARINA ZAÑARTU, PUERTO WILLIAMS AD	-54,9317	0,60	31,21	35,37	-12,53	-18,41	46	-16	46	-22
27	el buitre aeródromo	-18,5119	3,06	57,08	57,09	10,40	4,88	58	-10	58	-10
28	AZAPATA	-18,5156	3,14	57,68	57,70	6,80	0,97	58	-10	58	-10
29	CHUNGARA AJATA	-18,2353	0,94	35,54	35,55	-2,60	-8,40	46	-10	46	-10
30	CODPA	-18,8322	2,82	55,08	55,09	5,37	-0,13	58	-10	58	-10
31	COYACAGUA	-20,0531	1,71	44,37	44,37	-8,96	-16,08	46	-10	46	-22
32	LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA)	-19,9333	1,30	39,74	39,74	-11,56	-21,24	46	-16	46	-22
33	CASPANA	-22,3367	2,19	49,21	49,24	0,28	-5,53	52	-10	52	-10
34	CHIU-CHIU	-22,3378	2,68	53,83	53,86	-3,88	-10,55	58	-10	58	-16
35	CONCHI EMBALSE	-22,0250	2,33	50,59	50,62	-4,79	-11,74	52	-10	52	-16
36	LINZOR	-22,2297	1,10	37,47	37,49	-7,13	-13,44	46	-10	46	-16
37	PARSHALL N 2	-21,9428	1,98	47,19	47,21	-4,61	-11,02	52	-10	52	-16
38	PEINE	-23,6842	3,40	59,74	59,82	3,24	-2,50	64	-10	64	-10
39	CANTO DE AGUA	-28,0992	3,20	58,20	58,62	-0,97	-7,91	64	-10	64	-10
40	LA COMPAÑÍA (VALLENAR)	-28,5761	2,80	54,85	55,29	2,97	-2,75	58	-10	58	-10
41	LAUTARO EMBALSE	-27,9783	3,99	63,80	64,24	0,03	-7,09	64	-10	70	-10
42	LOS LOROS	-27,8317	3,75	62,19	62,61	2,19	-3,84	64	-10	64	-10
43	SAN FELIX	-28,9311	3,91	63,26	63,81	1,24	-4,96	64	-10	64	-10
44	SANTA JUANA	-28,6672	3,34	59,22	59,70	3,74	-2,22	64	-10	64	-10
45	CAREN	-30,8547	3,54	60,73	61,52	1,86	-4,48	64	-10	64	-10
46	COGOTI EMBALSE	-31,0078	3,13	57,65	58,41	1,03	-4,92	58	-10	64	-10
47	EL TRAPICHE	-29,3731	2,61	53,18	53,69	1,98	-3,58	58	-10	58	-10

Tabla 7-9: Clasificación SUPERPAVE para Chile por estación, según el modelo basado en daño LTPP 3.1 + escenario RCP 2.6 (continuación).

Estaciones		Latitud	DD promedio[1000°C-Dias]	Temperatura pavimento				PG Modelo de daño LTPP 3.1			
				T° max modelo de daño LTPP 3.1		T° min modelo de daño LTPP 3.1		Alta	Baja	Alta	Baja
Número	Nombre			50%	98%	50%	98%	50%		98%	
48	HURTADO	-30,2867	3,35	59,34	60,02	0,92	-6,26	64	-10	64	-10
49	ILLAPEL DGA	-31,6450	3,17	57,96	58,82	1,61	-4,38	58	-10	64	-10
50	LA LAGUNA EMBALSE	-30,2033	1,78	45,11	45,62	-10,18	-17,10	46	-16	46	-22
51	LA ORTIGA	-30,1939	3,31	58,99	59,66	0,09	-6,61	64	-10	64	-10
52	LA TRANQUILLA	-31,9000	3,43	59,89	60,82	0,27	-6,19	64	-10	64	-10
53	LAS RAMADAS	-31,0181	3,14	57,69	58,46	-1,59	-8,70	58	-10	64	-10
54	LOS CONDORES	-32,1086	2,63	53,34	54,19	0,74	-4,91	58	-10	58	-10
55	PALOMA EMBALSE	-30,6958	3,34	59,23	59,97	3,16	-2,55	64	-10	64	-10
56	RECOLETA EMBALSE	-30,5069	3,01	56,67	57,36	3,92	-1,54	58	-10	58	-10
57	RIVADAVIA	-29,9772	3,55	60,79	61,45	-3,03	-9,58	64	-10	64	-10
58	ALICAHUE	-32,3408	2,97	56,32	57,26	0,09	-6,15	58	-10	58	-10
59	LAGO PEÑUELAS	-33,1450	2,24	49,75	50,69	-0,57	-7,03	52	-10	52	-10
60	LLIU-LLIU EMBALSE	-33,0986	2,95	56,11	57,16	1,38	-4,66	58	-10	58	-10
61	LOS AROMOS	-32,9578	2,66	53,62	54,60	0,68	-5,52	58	-10	58	-10
62	QUILLOTA	-32,8958	2,81	55,00	56,00	-0,73	-7,50	58	-10	58	-10
63	VILCUYA	-32,8603	3,33	59,17	60,24	-3,26	-10,12	64	-10	64	-16
64	CERRO CALAN	-33,3950	3,50	60,44	61,62	1,27	-5,07	64	-10	64	-10
65	EL YESO EMBALSE	-33,6767	1,65	43,70	44,60	-8,96	-16,41	46	-10	46	-22
66	LAGUNA ACULEO	-33,8858	3,44	60,00	61,26	-1,25	-8,24	64	-10	64	-10
67	LOS PANGUILES	-33,4386	3,21	58,23	59,38	0,24	-6,28	64	-10	64	-10
68	MELIPILLA	-33,6803	2,95	56,15	57,30	0,86	-5,51	58	-10	58	-10
69	PIRQUE	-33,6736	3,23	58,40	59,59	-4,27	-11,24	64	-10	64	-16
70	CONVENIO VIEJO	-34,7694	3,08	57,24	58,60	-1,67	-8,14	58	-10	64	-10
71	ANCOA EMBALSE	-35,9106	2,74	54,32	55,82	-3,33	-10,02	58	-10	58	-16
72	COLORADO	-35,6381	2,69	53,89	55,33	-7,23	-14,15	58	-10	58	-16
73	DIGUA EMBALSE	-36,2558	2,80	54,91	56,49	-3,23	-10,01	58	-10	58	-16
74	PARRAL	-36,1878	2,96	56,26	57,87	-2,15	-9,33	58	-10	58	-10
75	PENCAHUE	-35,3725	3,46	60,13	61,68	-1,83	-9,20	64	-10	64	-10
76	POTRERO GRANDE	-35,1833	2,93	56,00	57,41	-4,32	-11,64	58	-10	58	-16
77	TALCA UC	-35,4358	3,14	57,70	59,20	-2,85	-10,03	58	-10	64	-16
78	CARACOL	-36,6511	2,59	52,99	54,60	-2,60	-8,57	58	-10	58	-10
79	COIHUECO EMBALSE	-36,6408	2,97	56,33	58,04	-4,00	-11,16	58	-10	64	-16
80	DIGUILLIN	-36,8686	2,30	50,34	51,90	-3,31	-9,75	52	-10	52	-10
81	QUILACO	-37,6850	2,79	54,75	56,62	-4,71	-12,30	58	-10	58	-16
82	LIUCURA	-38,6517	2,28	50,10	52,00	-19,82	-27,72	52	-22	52	-28
83	LONQUIMAY	-38,4536	2,27	49,99	51,85	-17,12	-24,45	52	-22	52	-28
84	MALALCAHUELLO	-38,4703	1,76	44,82	46,48	-10,68	-17,29	46	-16	52	-22
85	PUCON	-39,2753	2,09	48,25	50,21	-2,75	-9,04	52	-10	52	-10
86	PUERTO SAAVEDRA	-38,7886	1,51	42,18	43,81	-2,34	-8,62	46	-10	46	-10
87	TEODORO SCHMITD	-39,0278	1,95	46,82	48,67	-3,61	-10,32	52	-10	52	-16
88	TRAIGUE	-38,2561	2,29	50,21	52,04	-4,99	-11,89	52	-10	58	-16
89	ADOLFO MATTHEI	-40,5883	1,98	47,20	49,38	-4,79	-12,01	52	-10	52	-16
90	COYHAIQUE(ESCUELA AGRICOLA)	-45,5739	1,39	40,84	43,76	-13,45	-20,09	46	-16	46	-22
91	PUERTO PUYUHUAPI	-44,3228	1,20	38,64	41,14	-5,40	-11,78	46	-10	46	-16
92	VILLA MAÑIHUALES	-45,1733	1,55	42,54	45,49	-11,77	-18,06	46	-16	46	-22
93	PUNTA ARENAS	-53,1233	1,02	36,52	40,89	-11,99	-17,97	46	-16	46	-22
94	TORRES DEL PAINE	-51,1842	1,04	36,67	40,57	-15,88	-23,73	46	-16	46	-28

- **Asignación de un ligante asfáltico tradicional a cada estación**

Se intentará modificar lo menos posible los mapas de zonificación ya realizados, es por ello que a continuación, se presentan las estaciones a las cuales obligatoriamente se le debe cambiar el ligante asfáltico asignado en el punto 4.4.

En la tabla 7-10, se aprecian las estaciones que cambian de ligante asfáltico.

Tabla 7- 10: Estaciones que deben cambiar de ligante tradicional por el cambio climático según modelo de daño LTPP 3.1 + escenario RCP 2.6.

Modelo	Escenario	Confiabilidad	Estaciones que deben cambiar su ligante asfáltico	Ligante anterior	Ligante Nuevo
Basado en daño LTPP 3.1	RCP 2.6	50%	Peine	PG 58-28	PG 64-22
		98%	Peine	PG 58-28	PG 64-22
			Lautaro Embalse *	PG 64-22	PG 70-16

*Si se mantuviera el ligante PG 64-22 para la estación de Lautaro Embalse, el ligante asfáltico fallaría con una confiabilidad de un 82,38%.

- **Mapa se zonificación SUPERPAVE**

Los mapas de zonificación para un 50% y 98% de confiabilidad son presentados en el ANEXO A, ya que la diferencia con el mapa presentado en el punto 4.5 es muy poca.

7.3.2 Escenario RCP 8.5

Se utilizará el escenario RCP 8.5 para cuantificar el cambio climático, es decir, a los datos de temperaturas extremas obtenidos en el capítulo 3, se les aplicará el delta climático, asociado a este escenario.

- **Cálculo del grado de desempeño teórico**

Se comienza con el cálculo de la temperatura del pavimento para cada estación, aplicando los deltas climáticos a las temperaturas calculadas con la metodología LTPP 3.1, además de asignarle el respectivo PG teórico. Lo anterior se muestra en la tabla 7-11.

Tabla 7- 11: Clasificación SUPERPAVE para Chile por estación, según el modelo basado en daño LTPP 3.1 + escenario RCP 8.5.

Estaciones		Latitud	DD promedio[1000°C-Dias]	Temperatura pavimento				PG Modelo de daño LTPP 3.1			
				T° max modelo de daño LTPP 3.1		T° min modelo de daño LTPP 3.1		Alta	Baja	Alta	Baja
Número	Nombre			50%	98%	50%	98%	50%		98%	
1	CHACALLUTA, ARICA AEROPUERTO	-18,3514	2,97	56,4	56,37	11,45	6,18	58	-10	58	-10
2	DIEGO ARACENA IQUIQUE AP	-20,5467	2,76	54,5	54,54	12,08	7,12	58	-10	58	-10
3	EL LOA, CALAMA AD	-22,4953	2,97	56,3	56,32	-2,59	-8,73	58	-10	58	-10
4	CERRO MORENO ANTOFAGASTA AP	-23,4503	2,38	51,0	51,11	6,01	0,92	52	-10	52	-10
5	LA FLORIDA, LA SERENA AD	-29,9172	1,99	47,3	47,78	4,54	-1,02	52	-10	52	-10
6	SANTO DOMINGO, AD	-33,6550	1,94	46,7	47,68	-0,51	-7,29	52	-10	52	-10
7	QUINTA NORMAL, SANTIAGO	-33,4450	3,41	59,8	60,94	0,87	-5,57	64	-10	64	-10
8	EULOGIO SANCHEZ, TOBALABA AD	-33,4544	3,48	60,3	61,45	0,57	-5,68	64	-10	64	-10
9	PUDAHUEL SANTIAGO	-33,5419	3,39	59,7	60,85	-1,46	-8,47	64	-10	64	-10
10	GENERAL FREIRE, CURICO AD	-34,9664	3,24	58,5	59,91	-2,06	-9,15	64	-10	64	-10
11	BERNARDO O'HIGGINS, CHILLAN AD	-36,5872	3,03	56,8	58,48	-3,03	-10,21	58	-10	64	-16
12	CARRIEL SUR, CONCEPCION	-36,7792	2,07	48,0	49,50	-1,21	-8,29	52	-10	52	-10
13	MANQUEHUE, TEMUCO AD	-38,7700	2,28	50,2	52,10	-4,80	-12,31	52	-10	58	-16
14	PICHOY, VALDIVIA AD	-39,6511	2,14	48,7	50,77	-4,31	-11,81	52	-10	52	-16
15	CAÑAL BAJO, OSORNO AD	-40,6050	1,98	47,1	49,31	-4,97	-12,52	52	-10	52	-16
16	EL TEPUAL PUERTO MONTT, AP	-41,4350	1,73	44,5	46,77	-3,86	-11,00	46	-10	52	-16
17	CHAITEN AD	-42,9311	1,27	39,4	41,64	-3,21	-9,81	46	-10	46	-10
18	FUTALEUFU AD	-43,1892	1,86	45,9	48,59	-7,16	-13,90	46	-10	52	-16
19	ALTO PALENA AD	-43,6117	1,76	44,9	47,64	-7,13	-13,57	46	-10	52	-16
20	PUERTO AYSEN AD	-45,3961	1,30	39,8	42,57	-6,09	-12,21	46	-10	46	-16
21	TENIENTE VIDAL, COYHAIQUE AD	-45,5939	1,50	42,0	44,99	-13,90	-20,82	46	-16	46	-22
22	BALMACEDA AD	-45,9125	1,27	39,4	42,30	-20,10	-28,28	46	-22	46	-34
23	CHILE CHICO AD	-46,9086	2,01	47,5	51,23	-9,57	-16,43	52	-10	52	-22
24	LORD COCHRANE AD	-47,2444	1,65	43,6	47,17	-11,93	-18,26	46	-16	52	-22
25	CARLOS IBAÑEZ, PUNTA ARENAS AP	-53,0050	1,02	36,4	40,77	-15,96	-22,11	46	-16	46	-28
26	GUARDIA MARINA ZAÑARTU, PUERTO WILLIAMS AD	-54,9317	0,65	31,9	36,16	-12,27	-18,14	46	-16	46	-22
27	el buitre aeródromo	-18,5119	3,18	58,0	58,04	10,79	5,27	64	-10	64	-10
28	AZAPATA	-18,5156	3,26	58,6	58,63	7,30	1,47	64	-10	64	-10
29	CHUNGARA AJATA	-18,2353	1,06	37,0	37,03	-2,28	-8,12	46	-10	46	-10
30	CODPA	-18,8322	2,95	56,2	56,17	5,39	-0,14	58	-10	58	-10
31	COYACAGUA	-20,0531	1,84	45,7	45,66	-8,71	-15,84	46	-10	46	-16
32	LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA)	-19,9333	1,42	41,1	41,15	-11,36	-21,05	46	-16	46	-22
33	CASPANA	-22,3367	2,32	50,5	50,55	1,09	-4,72	52	-10	52	-10
34	CHIU-CHIU	-22,3378	2,80	54,8	54,87	-3,56	-10,23	58	-10	58	-16
35	CONCHI EMBALSE	-22,0250	2,45	51,8	51,78	-4,79	-11,74	52	-10	52	-16
36	LINZOR	-22,2297	1,24	39,1	39,08	-6,57	-12,87	46	-10	46	-16
37	PARSHALL N 2	-21,9428	2,11	48,4	48,45	-4,64	-11,05	52	-10	52	-16
38	PEINE	-23,6842	3,53	60,6	60,73	3,30	-2,52	64	-10	64	-10
39	CANTO DE AGUA	-28,0992	3,32	59,1	59,54	-0,56	-7,49	64	-10	64	-10
40	LA COMPAÑÍA (VALLENAR)	-28,5761	2,93	55,9	56,40	3,35	-2,37	58	-10	58	-10
41	LAUTARO EMBALSE	-27,9783	4,10	64,5	64,93	0,36	-6,78	70	-10	70	-10
42	LOS LOROS	-27,8317	3,86	62,9	63,34	2,48	-3,55	64	-10	64	-10
43	SAN FELIX	-28,9311	4,03	64,0	64,57	1,53	-4,69	70	-10	70	-10
44	SANTA JUANA	-28,6672	3,45	60,1	60,60	4,43	-1,53	64	-10	64	-10
45	CAREN	-30,8547	3,66	61,6	62,36	2,40	-3,91	64	-10	64	-10
46	COGOTI EMBALSE	-31,0078	3,26	58,6	59,39	1,42	-4,58	64	-10	64	-10
47	EL TRAPICHE	-29,3731	2,73	54,2	54,75	2,32	-3,23	58	-10	58	-10

Tabla 7-11: Clasificación SUPERPAVE para Chile por estación, según el modelo basado en daño LTPP 3.1 + escenario RCP 8.5 (continuación).

Estaciones		Latitud	DD promedio[1000°C-Dias]	Temperatura pavimento				PG Modelo de daño LTPP 3.1			
				T° max modelo de daño LTPP 3.1		T° min modelo de daño LTPP 3.1		Alta	Baja	Alta	Baja
Número	Nombre			50%	98%	50%	98%	50%		98%	
48	HURTADO	-30,2867	3,47	60,2	60,94	1,50	-5,69	64	-10	64	-10
49	ILLAPEL DGA	-31,6450	3,30	59,0	59,85	2,11	-3,91	64	-10	64	-10
50	LA LAGUNA EMBALSE	-30,2033	1,98	47,1	47,68	-9,56	-16,41	52	-10	52	-22
51	LA ORTIGA	-30,1939	3,43	59,9	60,62	0,76	-5,88	64	-10	64	-10
52	LA TRANQUILLA	-31,9000	3,56	60,9	61,83	1,10	-5,34	64	-10	64	-10
53	LAS RAMADAS	-31,0181	3,25	58,6	59,37	-1,10	-8,20	64	-10	64	-10
54	LOS CONDORES	-32,1086	2,74	54,3	55,19	1,23	-4,43	58	-10	58	-10
55	PALOMA EMBALSE	-30,6958	3,47	60,2	60,94	3,71	-2,04	64	-10	64	-10
56	RECOLETA EMBALSE	-30,5069	3,13	57,6	58,32	4,85	-0,60	58	-10	64	-10
57	RIVADAVIA	-29,9772	3,69	61,8	62,48	-2,50	-8,98	64	-10	64	-10
58	ALICAHUE	-32,3408	3,11	57,5	58,44	0,52	-5,72	58	-10	64	-10
59	LAGO PEÑUELAS	-33,1450	2,35	50,8	51,71	-0,19	-6,65	52	-10	52	-10
60	LLIU-LLIU EMBALSE	-33,0986	3,07	57,1	58,19	1,76	-4,29	58	-10	64	-10
61	LOS AROMOS	-32,9578	2,77	54,6	55,58	1,16	-5,06	58	-10	58	-10
62	QUILLOTA	-32,8958	2,93	56,0	57,01	-0,28	-7,06	58	-10	58	-10
63	VILCUYA	-32,8603	3,45	60,1	61,16	-2,81	-9,69	64	-10	64	-10
64	CERRO CALAN	-33,3950	3,62	61,3	62,51	2,16	-4,18	64	-10	64	-10
65	EL YESO EMBALSE	-33,6767	1,77	44,9	45,84	-8,25	-15,73	46	-10	46	-16
66	LAGUNA ACULEO	-33,8858	3,58	61,0	62,27	-0,76	-7,76	64	-10	64	-10
67	LOS PANGUILES	-33,4386	3,33	59,2	60,34	0,66	-5,88	64	-10	64	-10
68	MELIPILLA	-33,6803	3,07	57,1	58,27	1,35	-5,03	58	-10	64	-10
69	PIRQUE	-33,6736	3,37	59,4	60,66	-3,56	-10,54	64	-10	64	-16
70	CONVENIO VIEJO	-34,7694	3,23	58,4	59,83	-1,18	-7,66	64	-10	64	-10
71	ANCOA EMBALSE	-35,9106	2,90	55,7	57,25	-2,41	-9,09	58	-10	58	-10
72	COLORADO	-35,6381	2,84	55,2	56,66	-6,76	-13,68	58	-10	58	-16
73	DIGUA EMBALSE	-36,2558	2,95	56,2	57,78	-2,82	-9,62	58	-10	58	-10
74	PARRAL	-36,1878	3,11	57,5	59,12	-1,73	-8,90	58	-10	64	-10
75	PENCAHUE	-35,3725	3,61	61,2	62,77	-1,46	-8,85	64	-10	64	-10
76	POTRERO GRANDE	-35,1833	3,15	57,8	59,23	-3,42	-10,80	58	-10	64	-16
77	TALCA UC	-35,4358	3,30	58,9	60,45	-2,33	-9,52	64	-10	64	-10
78	CARACOL	-36,6511	2,75	54,5	56,13	-1,89	-7,88	58	-10	58	-10
79	COIHUECO EMBALSE	-36,6408	3,12	57,5	59,26	-3,46	-10,63	58	-10	64	-16
80	DIGUILLIN	-36,8686	2,45	51,7	53,32	-2,73	-9,18	52	-10	58	-10
81	QUILACO	-37,6850	2,93	56,0	57,88	-4,23	-11,83	58	-10	58	-16
82	LIUCURA	-38,6517	2,43	51,5	53,48	-19,55	-27,46	52	-22	58	-28
83	LONQUIMAY	-38,4536	2,44	51,6	53,53	-16,66	-24,00	52	-22	58	-28
84	MALALCAHUELLO	-38,4703	1,90	46,4	48,09	-10,10	-16,70	52	-16	52	-22
85	PUCON	-39,2753	2,23	49,7	51,67	-2,15	-8,44	52	-10	52	-10
86	PUERTO SAAVEDRA	-38,7886	1,63	43,5	45,13	-1,95	-8,23	46	-10	46	-10
87	TEODORO SCHMITD	-39,0278	2,08	48,2	50,11	-3,34	-10,05	52	-10	52	-16
88	TRAIGUE	-38,2561	2,43	51,5	53,39	-4,67	-11,57	52	-10	58	-16
89	ADOLFO MATTHEI	-40,5883	2,10	48,4	50,63	-4,44	-11,65	52	-10	52	-16
90	COYHAIQUE(ESCUELA AGRICOLA)	-45,5739	1,52	42,3	45,33	-13,03	-19,68	46	-16	46	-22
91	PUERTO PUYUHUAPI	-44,3228	1,33	40,1	42,71	-4,72	-11,10	46	-10	46	-16
92	VILLA MAÑIHUALES	-45,1733	1,68	44,0	47,04	-11,07	-17,35	46	-16	52	-22
93	PUNTA ARENAS	-53,1233	1,06	37,0	41,43	-11,77	-17,73	46	-16	46	-22
94	TORRES DEL PAINE	-51,1842	1,13	37,8	41,83	-15,22	-23,07	46	-16	46	-28

- **Asignación de un ligante asfáltico tradicional a cada estación**

Se intentará modificar lo menos posible los mapas de zonificación ya realizados, es por ello que a continuación, se presentan las estaciones a las cuales obligatoriamente se le debe cambiar el ligante asfáltico asignado en el punto 4.4.

En la tabla 7-12, se aprecian las estaciones que cambian de ligante asfáltico.

Tabla 7- 12: Estaciones que deben cambiar de ligante tradicional por el cambio climático según modelo de daño LTPP 3.1 + escenario RCP 8.5.

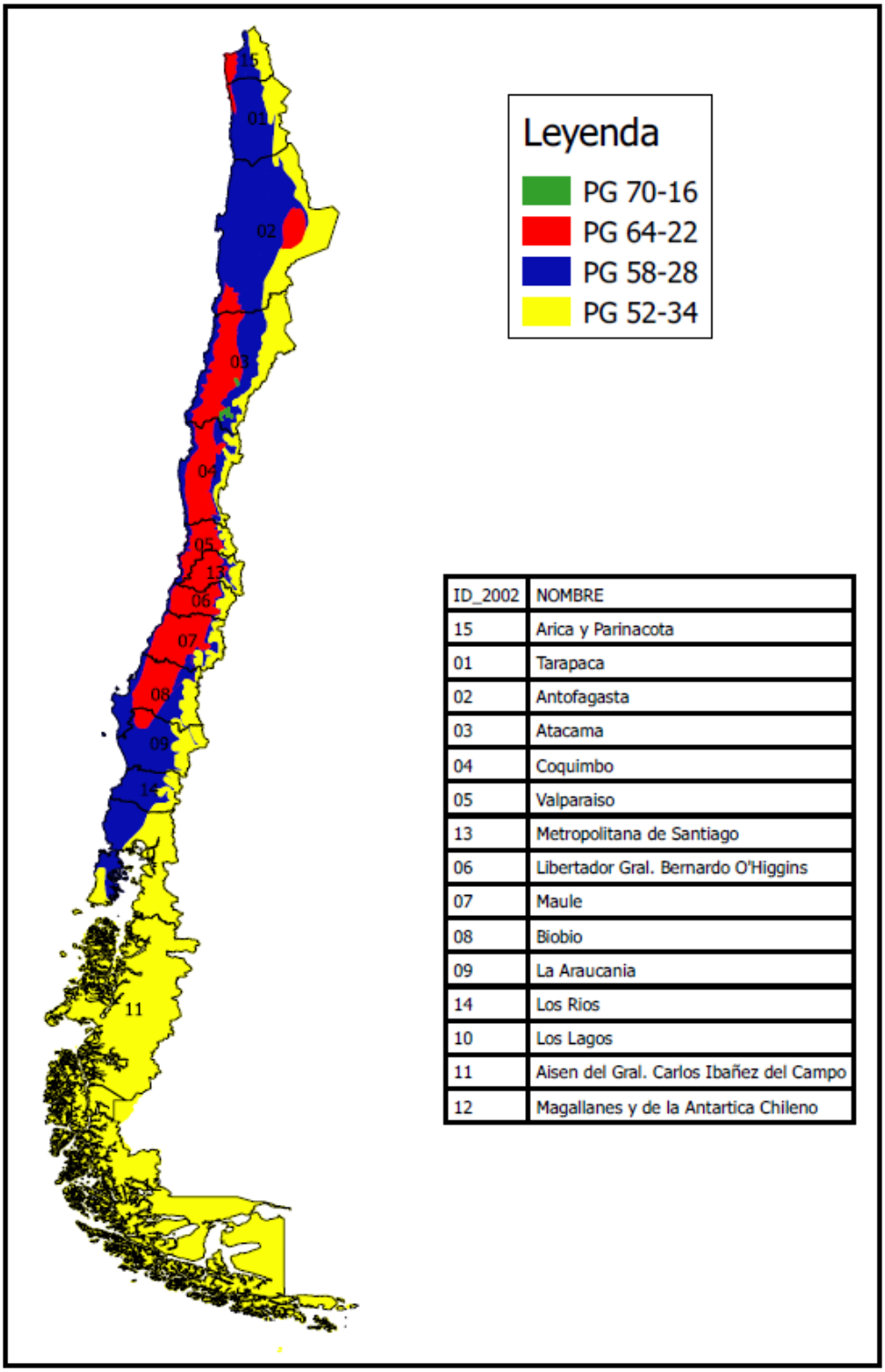
Modelo	Escenario	Confiabilidad	Estaciones que deben cambiar su ligante asfáltico	Ligante anterior	Ligante Nuevo
Basado en daño LTPP 3.1	RCP 8.5	50%	Buitre aeródromo	PG 58-28	PG 64-22
			Azapata	PG 58-28	PG 64-22
			Peine	PG 58-28	PG 64-22
			Lautaro Embalse *	PG 64-22	PG 70-16
			San fénix *	PG 64-22	PG 70-16
		98%	Buitre aeródromo	PG 58-28	PG 64-22
			Azapata	PG 58-28	PG 64-22
			Peine	PG 58-28	PG 64-22
			Lautaro Embalse *	PG 64-22	PG 70-16
			San fénix *	PG 64-22	PG 70-16
			Liucura	PG 52-34	PG 58-28
			Lonquimay	PG 52-34	PG 58-28

* Si se mantuviera el ligante PG 64-22 para la estación de Lautaro Embalse y San fénix, este fallaría con una confiabilidad menor al 50 %, por lo cual es necesario utilizar el ligante PG 70-16.

- **Mapa se zonificación SUPERPAVE**

Además de los cambios obligatorios, se modifica el ligante de la estación Chacalluta, de PG 58-28 a PG 64-22 para ambas confiabilidades y la estación de malalcahuello de PG 52-34 a PG 58-28 para un 98% de confiabilidad, lo anterior para obtener una mayor continuidad territorial de los ligantes de dichas estaciones.

En la figura 7-4, se aprecia el mapa de zonificación SUPERPAVE de Chile, utilizando los modelos LTPP 3.1, el escenario RCP 8.5 y un 50 % de confiabilidad. Lo mismo para la figura 7-5, pero para una confiabilidad del 98%.

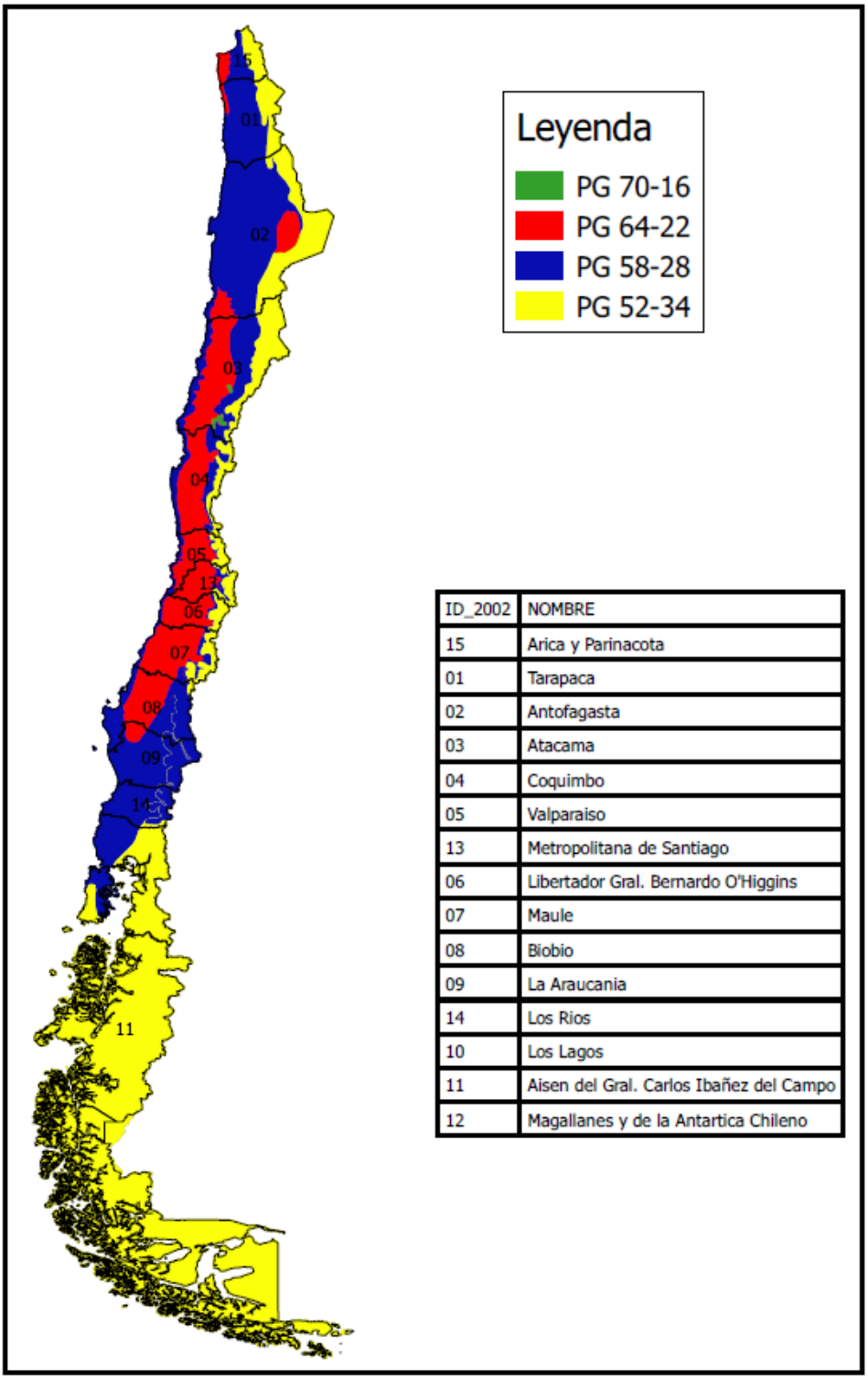


ID_2002	NOMBRE
15	Arica y Parinacota
01	Tarapaca
02	Antofagasta
03	Atacama
04	Coquimbo
05	Valparaiso
13	Metropolitana de Santiago
06	Libertador Gral. Bernardo O'Higgins
07	Maule
08	Biobio
09	La Araucania
14	Los Rios
10	Los Lagos
11	Aisen del Gral. Carlos Ibañez del Campo
12	Magallanes y de la Antartica Chileno

**Balmaceda AD PG 52-34: Falla la temperatura intermedia para un 98% de confiabilidad.*

****Mapa para condiciones de circulación de alta velocidad y volumen de tránsito bajo según el anexo C.***

Figura 7- 4: Zonificación SUPERPAVE para Chile utilizando el modelo basado en daño LTPP 3.1, escenario RCP 8.5 y 50 % de confiabilidad.



**Balmaceda AD PG 52-34: Falla la temperatura intermedia para un 98% de confiabilidad.*

****Mapa para condiciones de circulación de alta velocidad y volumen de tránsito bajo según el anexo C.***

Figura 7- 5: Zonificación SUPERPAVE para Chile utilizando el modelo basado en daño LTPP 3.1, escenario RCP 8.5 y 98% de confiabilidad.

7.4 análisis y comparaciones

En el presente capítulo, se comparará los grados de desempeño teóricos entre ambos escenarios (actual v/s futuro), para poder con ello cuantificar el efecto del cambio climático en el diseño de pavimentos flexibles. Lo anterior, se realizará para cada uno de los tres modelos SHRP, LTPP 2.1 y el basado en daño LTPP 3.1 además de para cada escenario (RCP 2.6 y RCP 8.5).

A continuación, se presentarán cuadros comparativos con los grados de desempeño, para cada escenario en estudio (actual, RCP 2.6 y RCP 8.5).

- **Modelo SHRP y 50 % de confiabilidad**.

Tabla 7- 13: Comparativo entre los PG actuales y los futuros (RCP 2.6 y RCP 8.5) utilizando los modelos SHRP y un 50 % de confiabilidad.

		SHRP 50% Confiabilidad								SHRP 50% Confiabilidad					
N°	ESTACIÓN	PG Clima actual		PG Clima Escenario RCP 2.6		PG Clima Escenario RCP 8.5		N°	ESTACIÓN	PG Clima actual		PG Clima Escenario RCP 2.6		PG Clima Escenario RCP 8.5	
		Alta	Baja	Alta	Baja	Alta	Baja			Alta	Baja	Alta	Baja	Alta	Baja
1	CHACALLUTA, ARICA AEROPUERTO	58	-10	58	-10	58	-10	48	HURTADO	58	-10	58	-10	58	-10
2	DIEGO ARACENA IQUIQUE AP	58	-10	58	-10	58	-10	49	ILLAPEL DGA	58	-10	58	-10	58	-10
3	EL LOA, CALAMA AD	52	-16	58	-16	58	-16	50	LA LAGUNA EMBALSE	58	-22	58	-22	58	-22
4	CERRO MORENO ANTOFAGASTA AP	52	-10	52	-10	52	-10	51	LA ORTIGA	58	-10	58	-10	58	-10
5	LA FLORIDA, LA SERENA AD	52	-10	52	-10	52	-10	52	LA TRANQUILLA	58	-10	58	-10	64	-10
6	SANTO DOMINGO, AD	52	-10	52	-10	52	-10	53	LAS RAMADAS	58	-10	58	-10	58	-10
7	QUINTA NORMAL, SANTIAGO	58	-10	58	-10	58	-10	54	LOS CONDORES	58	-10	58	-10	58	-10
8	EULOGIO SANCHEZ, TOBALABA AD	58	-10	58	-10	64	-10	55	PALOMA EMBALSE	58	-10	58	-10	58	-10
9	PUDAHUEL SANTIAGO	58	-10	58	-10	58	-10	56	RECOLETA EMBALSE	58	-10	58	-10	58	-10
10	GENERAL FREIRE, CURICO AD	58	-10	58	-10	58	-10	57	RIVADAVIA	58	-16	58	-10	58	-10
11	BERNARDO O'HIGGINS, CHILLAN AD	58	-10	58	-10	58	-10	58	ALICAHUE	58	-10	58	-10	58	-10
12	CARRIEL SUR, CONCEPCION	52	-10	52	-10	52	-10	59	LAGO PEÑUELAS	52	-10	52	-10	58	-10
13	MANQUEHUE, TEMUCO AD	58	-10	58	-10	58	-10	60	LLIU-LLIU EMBALSE	58	-10	58	-10	58	-10
14	PICHOY, VALDIVIA AD	52	-10	58	-10	58	-10	61	LOS AROMOS	58	-10	58	-10	58	-10
15	CAÑAL BAJO, OSORNO AD	52	-10	52	-10	58	-10	62	QUILLOTA	58	-10	58	-10	58	-10
16	EL TEPUAL PUERTO MONTT, AP	52	-10	52	-10	52	-10	63	VILCUYA	58	-10	58	-10	64	-10
17	CHAITEN AD	46	-10	52	-10	52	-10	64	CERRO CALAN	58	-10	64	-10	64	-10
18	FUTALEUFU AD	52	-16	52	-10	52	-10	65	EL YESO EMBALSE	52	-22	52	-22	52	-16
19	ALTO PALENA AD	52	-16	52	-16	58	-10	66	LAGUNA ACULEO	58	-10	58	-10	58	-10
20	PUERTO AYSEN AD	52	-10	52	-10	52	-10	67	LOS PANGUILES	58	-10	58	-10	58	-10
21	TENIENTE VIDAL, COYHAIQUE AD	52	-22	52	-22	52	-22	68	MELIPILLA	58	-10	58	-10	58	-10
22	BALMACEDA AD	52	-28	52	-28	52	-28	69	PIRQUE	58	-16	58	-10	58	-10
23	CHILE CHICO AD	52	-16	52	-16	52	-16	70	CONVENIO VIEJO	58	-10	58	-10	58	-10
24	LORD COCHRANE AD	52	-22	52	-16	52	-16	71	ANCOA EMBALSE	58	-10	58	-10	58	-10
25	CARLOS IBAÑEZ, PUNTA ARENAS AP	46	-22	46	-22	46	-22	72	COLORADO	58	-16	58	-16	58	-16
26	GUARDIA MARINA ZAÑARTU, PUERTO WILLIAMS AD	46	-16	46	-16	46	-16	73	DIGUA EMBALSE	58	-10	58	-10	58	-10
27	el buitre aeródromo	58	-10	58	-10	58	-10	74	PARRAL	58	-10	58	-10	64	-10
28	AZAPATA	58	-10	58	-10	64	-10	75	PENCAHUE	64	-10	64	-10	64	-10
29	CHUNGARA AJATA	46	-16	46	-16	46	-16	76	POTRERO GRANDE	58	-10	58	-10	58	-10
30	CODPA	52	-10	52	-10	58	-10	77	TALCA UC	58	-10	58	-10	58	-10
31	COYACAGUA	52	-28	52	-22	52	-22	78	CARACOL	58	-10	58	-10	58	-10
32	LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA)	46	-28	52	-28	52	-28	79	COIHUECO EMBALSE	64	-10	64	-10	64	-10
33	CASPANA	52	-10	52	-10	52	-10	80	DIGUILLIN	58	-10	58	-10	58	-10
34	CHIU-CHIU	52	-16	58	-16	58	-16	81	QUILACO	58	-10	58	-10	58	-10
35	CONCHI EMBALSE	52	-22	58	-16	58	-16	82	LIUCURA	64	-34	64	-34	64	-34
36	LINZOR	46	-22	46	-22	52	-22	83	LONQUIMAY	58	-28	58	-28	58	-28
37	PARSHALL N 2	52	-16	52	-16	52	-16	84	MALALCAHUELLO	52	-22	58	-22	58	-16
38	PEINE	58	-10	64	-10	64	-10	85	PUCON	58	-10	58	-10	58	-10
39	CANTO DE AGUA	58	-10	58	-10	58	-10	86	PUERTO SAAVEDRA	52	-10	52	-10	52	-10
40	LA COMPAÑÍA (VALLENAR)	58	-10	58	-10	58	-10	87	TEODORO SCHMITD	52	-10	52	-10	52	-10
41	LAUTARO EMBALSE	58	-10	64	-10	64	-10	88	TRAIGUE	58	-10	58	-10	58	-10
42	LOS LOROS	58	-10	64	-10	64	-10	89	ADOLFO MATTHEI	52	-10	52	-10	58	-10
43	SAN FELIX	64	-10	64	-10	64	-10	90	COYHAIQUE(ESCUELA AGRICOLA)	52	-22	52	-22	52	-22
44	SANTA JUANA	58	-10	58	-10	58	-10	91	PUERTO PUYUHUAPI	52	-10	52	-10	52	-10
45	CAREN	58	-10	58	-10	58	-10	92	VILLA MAÑIHUALES	52	-16	52	-16	58	-16
46	COGOTI EMBALSE	58	-10	58	-10	58	-10	93	PUNTA ARENAS	46	-16	46	-16	46	-16
47	EL TRAPICHE	58	-10	58	-10	58	-10	94	TORRES DEL PAINE	46	-22	46	-22	46	-22

*Cuadro color amarillo: Indica cambio del PG futuro respecto al PG actual.

- **Modelo SHRP y 98 % de confiabilidad.**

Tabla 7- 14: Comparativo entre los PG actuales y los futuros (RCP 2.6 y RCP 8.5) utilizando los modelos SHRP y un 98 % de confiabilidad.

		SHRP 98% Confiabilidad					
N°	ESTACIÓN	PG Clima actual		PG Clima Escenario RCP 2.6		PG Clima Escenario RCP 8.5	
		Alta	Baja	Alta	Baja	Alta	Baja
1	CHACALLUTA, ARICA AEROPUERTO	58	-10	58	-10	58	-10
2	DIEGO ARACENA IQUIQUE AP	58	-10	58	-10	58	-10
3	EL LOA, CALAMA AD	58	-22	58	-22	58	-22
4	CERRO MORENO ANTOFAGASTA AP	58	-10	58	-10	58	-10
5	LA FLORIDA, LA SERENA AD	52	-10	52	-10	52	-10
6	SANTO DOMINGO, AD	58	-16	58	-16	58	-16
7	QUINTA NORMAL, SANTIAGO	64	-10	64	-10	64	-10
8	EULOGIO SANCHEZ, TOBALABA AD	64	-10	64	-10	64	-10
9	PUDAHUEL SANTIAGO	64	-16	64	-16	64	-16
10	GENERAL FREIRE, CURICO AD	64	-16	64	-16	64	-16
11	BERNARDO O'HIGGINS, CHILLAN AD	64	-16	64	-16	64	-16
12	CARRIEL SUR, CONCEPCION	58	-16	58	-16	58	-16
13	MANQUEHUE, TEMUCO AD	64	-22	64	-22	64	-22
14	PICHOY, VALDIVIA AD	64	-16	64	-16	64	-16
15	CAÑAL BAJO, OSORNO AD	58	-22	64	-22	64	-22
16	EL TEPUAL PUERTO MONTT, AP	58	-16	58	-16	58	-16
17	CHAITEN AD	58	-16	64	-16	64	-16
18	FUTALEUFU AD	58	-22	58	-22	58	-22
19	ALTO PALENA AD	58	-22	58	-22	64	-16
20	PUERTO AYSEN AD	58	-16	58	-16	58	-16
21	TENIENTE VIDAL, COYHAIQUE AD	58	-28	58	-28	58	-28
22	BALMACEDA AD	58	-40	58	-40	58	-40
23	CHILE CHICO AD	58	-22	58	-22	58	-22
24	LORD COCHRANE AD	58	-28	58	-22	58	-22
25	CARLOS IBAÑEZ, PUNTA ARENAS AP	46	-28	46	-28	46	-28
26	GUARDIA MARINA ZAÑARTU, PUERTO WILLIAMS AD	46	-22	46	-22	46	-16
27	el buitre aeródromo	58	-10	58	-10	64	-10
28	AZAPATA	58	-10	58	-10	64	-10
29	CHUNGARA AJATA	46	-22	52	-22	52	-22
30	CODPA	58	-10	58	-10	58	-10
31	COYACAGUA	52	-34	52	-28	52	-28
32	LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA)	52	-40	52	-40	52	-40
33	CASPANA	58	-16	58	-16	58	-16
34	CHIU-CHIU	58	-22	58	-22	58	-22
35	CONCHI EMBALSE	58	-28	58	-22	58	-22
36	LINZOR	46	-28	52	-28	52	-28
37	PARSHALL N 2	52	-22	52	-22	52	-22
38	PEINE	64	-10	64	-10	64	-10
39	CANTO DE AGUA	64	-16	64	-16	64	-16
40	LA COMPAÑÍA (VALLENAR)	58	-10	58	-10	58	-10
41	LAUTARO EMBALSE	64	-16	64	-16	64	-16
42	LOS LOROS	64	-10	64	-10	64	-10
43	SAN FELIX	64	-16	64	-10	64	-10
44	SANTA JUANA	58	-10	64	-10	64	-10
45	CAREN	64	-10	64	-10	64	-10
46	COGOTI EMBALSE	64	-10	64	-10	64	-10
47	EL TRAPICHE	58	-10	58	-10	58	-10

		SHRP 98% Confiabilidad					
N°	ESTACIÓN	PG Clima actual		PG Clima Escenario RCP 2.6		PG Clima Escenario RCP 8.5	
		Alta	Baja	Alta	Baja	Alta	Baja
48	HURTADO	58	-16	64	-16	64	-16
49	ILLAPEL DGA	58	-10	58	-10	64	-10
50	LA LAGUNA EMBALSE	58	-28	58	-28	58	-28
51	LA ORTIGA	58	-16	58	-16	64	-16
52	LA TRANQUILLA	58	-16	64	-16	64	-10
53	LAS RAMADAS	64	-16	64	-16	64	-16
54	LOS CONDORES	64	-10	64	-10	64	-10
55	PALOMA EMBALSE	58	-10	64	-10	64	-10
56	RECOLETA EMBALSE	58	-10	58	-10	58	-10
57	RIVADAVIA	64	-22	64	-16	64	-16
58	ALICAHUE	58	-16	64	-16	64	-10
59	LAGO PEÑUELAS	58	-16	58	-16	58	-16
60	LLIU-LLIU EMBALSE	64	-10	64	-10	64	-10
61	LOS AROMOS	58	-10	58	-10	58	-10
62	QUILLOTA	64	-16	64	-16	64	-16
63	VILCUYA	64	-16	64	-16	64	-16
64	CERRO CALAN	64	-10	64	-10	64	-10
65	EL YESO EMBALSE	52	-28	52	-28	52	-28
66	LAGUNA ACULEO	58	-16	64	-16	70	-16
67	LOS PANGUILES	64	-16	64	-16	64	-10
68	MELIPILLA	64	-10	64	-10	64	-10
69	PIRQUE	58	-22	64	-22	64	-22
70	CONVENIO VIEJO	58	-16	64	-16	64	-16
71	ANCOA EMBALSE	58	-16	58	-16	64	-16
72	COLORADO	58	-22	58	-22	64	-22
73	DIGUA EMBALSE	64	-16	64	-16	64	-16
74	PARRAL	64	-16	64	-16	64	-16
75	PENCAHUE	64	-16	64	-16	64	-16
76	POTRERO GRANDE	58	-22	58	-22	64	-16
77	TALCA UC	64	-16	64	-16	64	-16
78	CARACOL	58	-16	58	-16	64	-16
79	COIHUECO EMBALSE	64	-16	64	-16	70	-16
80	DIGUILLIN	58	-16	58	-16	58	-16
81	QUILACO	64	-22	64	-22	64	-22
82	LIUCURA	64	-40	64	-40	64	-40
83	LONQUIMAY	64	-34	64	-34	64	-34
84	MALALCAHUELLO	58	-28	58	-28	64	-28
85	PUCON	64	-16	64	-16	70	-16
86	PUERTO SAAVEDRA	52	-16	58	-16	58	-16
87	TEODORO SCHMITD	58	-16	58	-16	58	-16
88	TRAIGUE	64	-16	64	-16	64	-16
89	ADOLFO MATTHEI	58	-16	64	-16	64	-16
90	COYHAIQUE(ESCUELA AGRICOLA)	58	-28	58	-28	58	-28
91	PUERTO PUYUHUAPI	58	-16	58	-16	58	-16
92	VILLA MAÑIHUALES	58	-22	58	-22	64	-22
93	PUNTA ARENAS	46	-22	52	-22	52	-22
94	TORRES DEL PAINE	52	-28	52	-28	52	-28

*Cuadro color amarillo: Indica cambio del PG futuro respecto al PG actual.

- **Modelo LTPP 2.1 y 50 % de confiabilidad**.

Tabla 7- 15: Comparativo entre los PG actuales y los futuros (RCP 2.6 y RCP 8.5) utilizando los modelos LTPP 2.1 y un 50 % de confiabilidad.

		LTPP 50% Confiabilidad					
N°	ESTACIÓN	PG Clima actual		PG Clima Escenario RCP 2.6		PG Clima Escenario RCP 8.5	
		Alta	Baja	Alta	Baja	Alta	Baja
1	CHACALLUTA, ARICA AEROPUERTO	58	-10	58	-10	58	-10
2	DIEGO ARACENA IQUIQUE AP	52	-10	52	-10	52	-10
3	EL LOA, CALAMA AD	52	-10	52	-10	52	-10
4	CERRO MORENO ANTOFAGASTA AP	52	-10	52	-10	52	-10
5	LA FLORIDA, LA SERENA AD	52	-10	52	-10	52	-10
6	SANTO DOMINGO, AD	46	-10	52	-10	52	-10
7	QUINTA NORMAL, SANTIAGO	58	-10	58	-10	58	-10
8	EULOGIO SANCHEZ, TOBALABA AD	58	-10	58	-10	58	-10
9	PUDAHUEL SANTIAGO	58	-10	58	-10	58	-10
10	GENERAL FREIRE, CURICO AD	58	-10	58	-10	58	-10
11	BERNARDO O'HIGGINS, CHILLAN AD	58	-10	58	-10	58	-10
12	CARRIEL SUR, CONCEPCION	52	-10	52	-10	52	-10
13	MANQUEHUE, TEMUCO AD	52	-10	52	-10	52	-10
14	PICHOY, VALDIVIA AD	52	-10	52	-10	52	-10
15	CAÑAL BAJO, OSORNO AD	52	-10	52	-10	52	-10
16	EL TEPUAL PUERTO MONTT, AP	46	-10	52	-10	52	-10
17	CHAITEN AD	46	-10	46	-10	46	-10
18	FUTALEUFU AD	52	-10	52	-10	52	-10
19	ALTO PALENA AD	52	-10	52	-10	52	-10
20	PUERTO AYSEN AD	46	-10	46	-10	52	-10
21	TENIENTE VIDAL, COYHAIQUE AD	52	-16	52	-16	52	-16
22	BALMACEDA AD	52	-22	52	-22	52	-22
23	CHILE CHICO AD	52	-16	52	-16	52	-10
24	LORD COCHRANE AD	52	-16	52	-16	52	-16
25	CARLOS IBAÑEZ, PUNTA ARENAS AP	46	-22	46	-22	46	-16
26	GUARDIA MARINA ZAÑARTU, PUERTO WILLIAMS AD	46	-16	46	-16	46	-16
27	el buitre aeródromo	58	-10	58	-10	58	-10
28	AZAPATA	58	-10	58	-10	58	-10
29	CHUNGARA AJATA	46	-10	46	-10	46	-10
30	CODPA	52	-10	52	-10	52	-10
31	COYACAGUA	52	-16	52	-10	52	-10
32	LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA)	46	-16	52	-16	52	-16
33	CASPANA	52	-10	52	-10	52	-10
34	CHIU-CHIU	52	-10	52	-10	52	-10
35	CONCHI EMBALSE	52	-10	52	-10	52	-10
36	LINZOR	46	-10	46	-10	46	-10
37	PARSHALL N 2	52	-10	52	-10	52	-10
38	PEINE	58	-10	58	-10	58	-10
39	CANTO DE AGUA	58	-10	58	-10	58	-10
40	LA COMPAÑÍA (VALLENAR)	52	-10	52	-10	52	-10
41	LAUTARO EMBALSE	58	-10	58	-10	58	-10
42	LOS LOROS	58	-10	58	-10	58	-10
43	SAN FELIX	58	-10	58	-10	58	-10
44	SANTA JUANA	58	-10	58	-10	58	-10
45	CAREN	58	-10	58	-10	58	-10
46	COGOTI EMBALSE	52	-10	58	-10	58	-10
47	EL TRAPICHE	52	-10	52	-10	52	-10

		LTPP 50% Confiabilidad					
N°	ESTACIÓN	PG Clima actual		PG Clima Escenario RCP 2.6		PG Clima Escenario RCP 8.5	
		Alta	Baja	Alta	Baja	Alta	Baja
48	HURTADO	58	-10	58	-10	58	-10
49	ILLAPEL DGA	52	-10	58	-10	58	-10
50	LA LAGUNA EMBALSE	52	-16	58	-16	58	-10
51	LA ORTIGA	52	-10	58	-10	58	-10
52	LA TRANQUILLA	58	-10	58	-10	58	-10
53	LAS RAMADAS	58	-10	58	-10	58	-10
54	LOS CONDORES	52	-10	52	-10	52	-10
55	PALOMA EMBALSE	58	-10	58	-10	58	-10
56	RECOLETA EMBALSE	52	-10	52	-10	58	-10
57	RIVADAVIA	58	-10	58	-10	58	-10
58	ALICAHUE	52	-10	58	-10	58	-10
59	LAGO PEÑUELAS	52	-10	52	-10	52	-10
60	LLIU-LLIU EMBALSE	58	-10	58	-10	58	-10
61	LOS AROMOS	58	-10	58	-10	58	-10
62	QUILLOTA	58	-10	58	-10	58	-10
63	VILCUYA	58	-10	58	-10	58	-10
64	CERRO CALAN	58	-10	58	-10	58	-10
65	EL YESO EMBALSE	52	-10	52	-10	52	-10
66	LAGUNA ACULEO	58	-10	58	-10	58	-10
67	LOS PANGUILES	58	-10	58	-10	58	-10
68	MELIPILLA	52	-10	52	-10	58	-10
69	PIRQUE	58	-10	58	-10	58	-10
70	CONVENIO VIEJO	58	-10	58	-10	58	-10
71	ANCOA EMBALSE	52	-10	52	-10	58	-10
72	COLORADO	52	-10	58	-10	58	-10
73	DIGUA EMBALSE	58	-10	58	-10	58	-10
74	PARRAL	58	-10	58	-10	58	-10
75	PENCAHUE	58	-10	58	-10	58	-10
76	POTRERO GRANDE	58	-10	58	-10	58	-10
77	TALCA UC	58	-10	58	-10	58	-10
78	CARACOL	52	-10	52	-10	58	-10
79	COIHUECO EMBALSE	58	-10	58	-10	58	-10
80	DIGUILLIN	52	-10	58	-10	58	-10
81	QUILACO	58	-10	58	-10	58	-10
82	LIUCURA	58	-22	58	-22	58	-22
83	LONQUIMAY	58	-22	58	-22	58	-22
84	MALALCAHUELLO	52	-16	52	-16	52	-16
85	PUCON	52	-10	52	-10	52	-10
86	PUERTO SAAVEDRA	52	-10	52	-10	52	-10
87	TEODORO SCHMITD	52	-10	52	-10	52	-10
88	TRAIGUE	52	-10	58	-10	58	-10
89	ADOLFO MATTHEI	52	-10	52	-10	52	-10
90	COYHAIQUE(ESCUELA AGRICOLA)	52	-16	52	-16	52	-16
91	PUERTO PUYUHUAPI	52	-10	52	-10	52	-10
92	VILLA MAÑIHUALES	52	-16	52	-16	52	-16
93	PUNTA ARENAS	46	-16	46	-16	46	-16
94	TORRES DEL PAINE	46	-22	46	-16	46	-16

*Cuadro color amarillo: Indica cambio del PG futuro respecto al PG actual.

- **Modelo LTPP 2.1 y 98 % de confiabilidad.**

Tabla 7- 16: Comparativo entre los PG actuales y los futuros (RCP 2.6 y RCP 8.5) utilizando los modelos LTPP 2.1 y un 98 % de confiabilidad.

		LTPP 98% Confiabilidad					
N°	ESTACIÓN	PG Clima actual		PG Clima Escenario RCP 2.6		PG Clima Escenario RCP 8.5	
		Alta	Baja	Alta	Baja	Alta	Baja
1	CHACALLUTA, ARICA AEROPUERTO	64	-10	64	-10	64	-10
2	DIEGO ARACENA IQUIQUE AP	58	-10	58	-10	64	-10
3	EL LOA, CALAMA AD	58	-10	58	-10	64	-10
4	CERRO MORENO ANTOFAGASTA AP	58	-10	58	-10	58	-10
5	LA FLORIDA, LA SERENA AD	58	-10	58	-10	58	-10
6	SANTO DOMINGO, AD	58	-10	58	-10	58	-10
7	QUINTA NORMAL, SANTIAGO	64	-10	64	-10	64	-10
8	EULOGIO SANCHEZ, TOBALABA AD	64	-10	64	-10	64	-10
9	PUDAHUEL SANTIAGO	64	-10	64	-10	64	-10
10	GENERAL FREIRE, CURICO AD	64	-10	64	-10	64	-10
11	BERNARDO O'HIGGINS, CHILLAN AD	64	-16	64	-16	64	-16
12	CARRIEL SUR, CONCEPCION	58	-10	58	-10	58	-10
13	MANQUEHUE, TEMUCO AD	64	-16	64	-16	64	-16
14	PICHOY, VALDIVIA AD	58	-16	64	-16	64	-16
15	CAÑAL BAJO, OSORNO AD	58	-16	58	-16	64	-16
16	EL TEPUAL PUERTO MONTT, AP	58	-16	58	-16	58	-16
17	CHAITEN AD	58	-16	58	-16	58	-10
18	FUTALEUFU AD	58	-16	58	-16	58	-16
19	ALTO PALENA AD	58	-16	58	-16	64	-16
20	PUERTO AYSEN AD	58	-16	58	-16	58	-16
21	TENIENTE VIDAL, COYHAIQUE AD	58	-22	58	-22	58	-22
22	BALMACEDA AD	58	-34	58	-34	58	-34
23	CHILE CHICO AD	58	-22	58	-22	58	-22
24	LORD COCHRANE AD	58	-22	58	-22	58	-22
25	CARLOS IBAÑEZ, PUNTA ARENAS AP	52	-28	52	-28	52	-28
26	GUARDIA MARINA ZAÑARTU, PUERTO WILLIAMS AD	46	-22	52	-22	52	-22
27	el buitre aeródromo	64	-10	64	-10	64	-10
28	AZAPATA	64	-10	64	-10	64	-10
29	CHUNGARA AJATA	52	-16	58	-10	58	-10
30	CODPA	58	-10	58	-10	58	-10
31	COYACAGUA	58	-22	58	-22	58	-16
32	LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA)	52	-28	58	-22	58	-22
33	CASPANA	58	-10	58	-10	58	-10
34	CHIU-CHIU	58	-16	58	-16	58	-16
35	CONCHI EMBALSE	58	-16	58	-16	64	-16
36	LINZOR	52	-16	52	-16	52	-16
37	PARSHALL N 2	58	-16	58	-16	58	-16
38	PEINE	64	-10	64	-10	64	-10
39	CANTO DE AGUA	64	-10	64	-10	64	-10
40	LA COMPAÑÍA (VALLENAR)	58	-10	58	-10	64	-10
41	LAUTARO EMBALSE	64	-10	64	-10	64	-10
42	LOS LOROS	64	-10	64	-10	64	-10
43	SAN FELIX	64	-10	64	-10	64	-10
44	SANTA JUANA	64	-10	64	-10	64	-10
45	CAREN	64	-10	64	-10	64	-10
46	COGOTI EMBALSE	64	-10	64	-10	64	-10
47	EL TRAPICHE	58	-10	58	-10	58	-10

		LTPP 98% Confiabilidad					
N°	ESTACIÓN	PG Clima actual		PG Clima Escenario RCP 2.6		PG Clima Escenario RCP 8.5	
		Alta	Baja	Alta	Baja	Alta	Baja
48	HURTADO	64	-10	64	-10	64	-10
49	ILLAPEL DGA	58	-10	64	-10	64	-10
50	LA LAGUNA EMBALSE	58	-22	64	-22	64	-22
51	LA ORTIGA	64	-10	64	-10	64	-10
52	LA TRANQUILLA	64	-10	64	-10	64	-10
53	LAS RAMADAS	64	-10	64	-10	64	-10
54	LOS CONDORES	64	-10	64	-10	64	-10
55	PALOMA EMBALSE	64	-10	64	-10	64	-10
56	RECOLETA EMBALSE	58	-10	64	-10	64	-10
57	RIVADAVIA	64	-16	64	-10	64	-10
58	ALICAHUE	58	-10	64	-10	64	-10
59	LAGO PEÑUELAS	58	-10	58	-10	58	-10
60	LLIU-LLIU EMBALSE	64	-10	64	-10	64	-10
61	LOS AROMOS	64	-10	64	-10	64	-10
62	QUILLOTA	64	-10	64	-10	64	-10
63	VILCUYA	64	-16	64	-16	64	-10
64	CERRO CALAN	64	-10	64	-10	64	-10
65	EL YESO EMBALSE	58	-22	58	-22	58	-16
66	LAGUNA ACULEO	64	-10	64	-10	64	-10
67	LOS PANGUILES	64	-10	64	-10	64	-10
68	MELIPILLA	64	-10	64	-10	64	-10
69	PIRQUE	64	-16	64	-16	64	-16
70	CONVENIO VIEJO	64	-10	64	-10	64	-10
71	ANCOA EMBALSE	58	-10	64	-10	64	-10
72	COLORADO	64	-16	64	-16	64	-16
73	DIGUA EMBALSE	64	-16	64	-16	64	-10
74	PARRAL	64	-10	64	-10	64	-10
75	PENCAHUE	64	-10	64	-10	64	-10
76	POTRERO GRANDE	64	-16	64	-16	64	-16
77	TALCA UC	64	-16	64	-16	64	-10
78	CARACOL	58	-10	64	-10	64	-10
79	COIHUECO EMBALSE	64	-16	64	-16	64	-16
80	DIGUILLIN	58	-10	64	-10	64	-10
81	QUILACO	64	-16	64	-16	64	-16
82	LIUCURA	64	-28	64	-28	64	-28
83	LONQUIMAY	64	-28	64	-28	64	-28
84	MALALCAHUELLO	58	-22	58	-22	64	-22
85	PUCON	64	-10	64	-10	64	-10
86	PUERTO SAAVEDRA	58	-10	58	-10	58	-10
87	TEODORO SCHMITD	58	-10	58	-10	58	-10
88	TRAIGUE	64	-16	64	-16	64	-16
89	ADOLFO MATTHEI	58	-16	58	-16	64	-16
90	COYHAIQUE(ESCUELA AGRICOLA)	58	-22	58	-22	58	-22
91	PUERTO PUYUHUAPI	58	-16	58	-16	58	-16
92	VILLA MAÑIHUALES	58	-22	58	-22	64	-22
93	PUNTA ARENAS	52	-22	52	-22	52	-22
94	TORRES DEL PAINE	52	-28	52	-28	52	-28

*Cuadro color amarillo: Indica cambio del PG futuro respecto al PG actual.

- **Modelo basado en daño LTPP 3.1 y 50 % de confiabilidad.**

Tabla 7- 17: Comparativo entre los PG actuales y los futuros (RCP 2.6 y RCP 8.5) utilizando el modelo basado en daño LTPP 3.1 y un 50 % de confiabilidad.

		Modelo basado en daño 50% Confiabilidad								Modelo basado en daño 50% Confiabilidad					
N°	ESTACIÓN	PG Clima actual		PG Clima Escenario RCP 2.6		PG Clima Escenario RCP 8.5		N°	ESTACIÓN	PG Clima actual		PG Clima Escenario RCP 2.6		PG Clima Escenario RCP 8.5	
		Alta	Baja	Alta	Baja	Alta	Baja			Alta	Baja	Alta	Baja	Alta	Baja
1	CHACALLUTA, ARICA AEROPUERTO	58	-10	58	-10	58	-10	48	HURTADO	58	-10	64	-10	64	-10
2	DIEGO ARACENA IQUIQUE AP	58	-10	58	-10	58	-10	49	ILLAPEL DGA	58	-10	58	-10	64	-10
3	EL LOA, CALAMA AD	58	-10	58	-10	58	-10	50	LA LAGUNA EMBALSE	46	-16	46	-16	52	-10
4	CERRO MORENO ANTOFAGASTA AP	52	-10	52	-10	52	-10	51	LA ORTIGA	58	-10	64	-10	64	-10
5	LA FLORIDA, LA SERENA AD	46	-10	52	-10	52	-10	52	LA TRANQUILLA	58	-10	64	-10	64	-10
6	SANTO DOMINGO, AD	46	-10	46	-10	52	-10	53	LAS RAMADAS	58	-10	58	-10	64	-10
7	QUINTA NORMAL, SANTIAGO	58	-10	64	-10	64	-10	54	LOS CONDORES	58	-10	58	-10	58	-10
8	EULOGIO SANCHEZ, TOBALABA AD	58	-10	64	-10	64	-10	55	PALOMA EMBALSE	64	-10	64	-10	64	-10
9	PUDAHUEL SANTIAGO	58	-10	64	-10	64	-10	56	RECOLETA EMBALSE	58	-10	58	-10	58	-10
10	GENERAL FREIRE, CURICO AD	58	-10	58	-10	64	-10	57	RIVADAVIA	64	-10	64	-10	64	-10
11	BERNARDO O'HIGGINS, CHILLAN AD	58	-10	58	-10	58	-10	58	ALICAHUE	58	-10	58	-10	58	-10
12	CARRIEL SUR, CONCEPCION	52	-10	52	-10	52	-10	59	LAGO PEÑUELAS	52	-10	52	-10	52	-10
13	MANQUEHUE, TEMUCO AD	52	-10	52	-10	52	-10	60	LLIU-LLIU EMBALSE	58	-10	58	-10	58	-10
14	PICHOY, VALDIVIA AD	52	-10	52	-10	52	-10	61	LOS AROMOS	58	-10	58	-10	58	-10
15	CAÑAL BAJO, OSORNO AD	46	-10	46	-10	52	-10	62	QUILLOTA	58	-10	58	-10	58	-10
16	EL TEPUAL PUERTO MONTT, AP	46	-10	46	-10	46	-10	63	VILCUYA	58	-10	64	-10	64	-10
17	CHAITEN AD	46	-10	46	-10	46	-10	64	CERRO CALAN	64	-10	64	-10	64	-10
18	FUTALEUFU AD	46	-10	46	-10	46	-10	65	EL YESO EMBALSE	46	-10	46	-10	46	-10
19	ALTO PALENA AD	46	-10	46	-10	46	-10	66	LAGUNA ACULEO	64	-10	64	-10	64	-10
20	PUERTO AYSEN AD	46	-10	46	-10	46	-10	67	LOS PANGUILES	58	-10	64	-10	64	-10
21	TENIENTE VIDAL, COYHAIQUE AD	46	-16	46	-16	46	-16	68	MELIPILLA	58	-10	58	-10	58	-10
22	BALMACEDA AD	46	-22	46	-22	46	-22	69	PIRQUE	58	-10	64	-10	64	-10
23	CHILE CHICO AD	46	-16	52	-16	52	-10	70	CONVENIO VIEJO	58	-10	58	-10	64	-10
24	LORD COCHRANE AD	46	-16	46	-16	46	-16	71	ANCOA EMBALSE	58	-10	58	-10	58	-10
25	CARLOS IBAÑEZ, PUNTA ARENAS AP	46	-22	46	-22	46	-16	72	COLORADO	58	-10	58	-10	58	-10
26	GUARDIA MARINA ZAÑARTU, PUERTO WILLIAMS AD	46	-16	46	-16	46	-16	73	DIGUA EMBALSE	58	-10	58	-10	58	-10
27	el buitre aeródromo	58	-10	58	-10	64	-10	74	PARRAL	58	-10	58	-10	58	-10
28	AZAPATA	58	-10	58	-10	64	-10	75	PENCAHUE	64	-10	64	-10	64	-10
29	CHUNGARA AJATA	46	-10	46	-10	46	-10	76	POTRERO GRANDE	58	-10	58	-10	58	-10
30	CODPA	58	-10	58	-10	58	-10	77	TALCA UC	58	-10	58	-10	64	-10
31	COYACAGUA	46	-16	46	-10	46	-10	78	CARACOL	58	-10	58	-10	58	-10
32	LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA)	46	-16	46	-16	46	-16	79	COIHUECO EMBALSE	58	-10	58	-10	58	-10
33	CASPANA	46	-10	52	-10	52	-10	80	DIGUILLIN	52	-10	52	-10	52	-10
34	CHIU-CHIU	52	-10	58	-10	58	-10	81	QUILACO	58	-10	58	-10	58	-10
35	CONCHI EMBALSE	52	-10	52	-10	52	-10	82	LIUCURA	52	-22	52	-22	52	-22
36	LINZOR	46	-10	46	-10	46	-10	83	LONQUIMAY	52	-22	52	-22	52	-22
37	PARSHALL N 2	46	-10	52	-10	52	-10	84	MALALCAHUELLO	46	-16	46	-16	52	-16
38	PEINE	58	-10	64	-10	64	-10	85	PUCON	52	-10	52	-10	52	-10
39	CANTO DE AGUA	58	-10	64	-10	64	-10	86	PUERTO SAAVEDRA	46	-10	46	-10	46	-10
40	LA COMPAÑÍA (VALLENAR)	58	-10	58	-10	58	-10	87	TEODORO SCHMITD	52	-10	52	-10	52	-10
41	LAUTARO EMBALSE	64	-10	64	-10	70	-10	88	TRAIGUE	52	-10	52	-10	52	-10
42	LOS LOROS	64	-10	64	-10	64	-10	89	ADOLFO MATTHEI	52	-10	52	-10	52	-10
43	SAN FELIX	64	-10	64	-10	70	-10	90	COYHAIQUE(ESCUELA AGRICOLA)	46	-16	46	-16	46	-16
44	SANTA JUANA	58	-10	64	-10	64	-10	91	PUERTO PUYUHUAPI	46	-10	46	-10	46	-10
45	CAREN	64	-10	64	-10	64	-10	92	VILLA MAÑIHUALES	46	-16	46	-16	46	-16
46	COGOTI EMBALSE	58	-10	58	-10	64	-10	93	PUNTA ARENAS	46	-16	46	-16	46	-16
47	EL TRAPICHE	52	-10	58	-10	58	-10	94	TORRES DEL PAINE	46	-22	46	-16	46	-16

*Cuadro color amarillo: Indica cambio del PG futuro respecto al PG actual.

- **Modelo basado en daño LTPP 3.1 y 98 % de confiabilidad**.

Tabla 7- 18: Comparativo entre los PG actuales y los futuros (RCP 2.6 y RCP 8.5) utilizando el modelo basado en daño LTPP 3.1 y un 98 % de confiabilidad.

		Modelo basado en daño 98% Confiabilidad					
N°	ESTACIÓN	PG Clima actual		PG Clima Escenario RCP 2.6		PG Clima Escenario RCP 8.5	
		Alta	Baja	Alta	Baja	Alta	Baja
1	CHACALLUTA, ARICA AEROPUERTO	58	-10	58	-10	58	-10
2	DIEGO ARACENA IQUIQUE AP	58	-10	58	-10	58	-10
3	EL LOA, CALAMA AD	58	-10	58	-10	58	-10
4	CERRO MORENO ANTOFAGASTA AP	52	-10	52	-10	52	-10
5	LA FLORIDA, LA SERENA AD	46	-10	52	-10	52	-10
6	SANTO DOMINGO, AD	46	-10	52	-10	52	-10
7	QUINTA NORMAL, SANTIAGO	64	-10	64	-10	64	-10
8	EULOGIO SANCHEZ, TOBALABA AD	64	-10	64	-10	64	-10
9	PUDAHUEL SANTIAGO	64	-10	64	-10	64	-10
10	GENERAL FREIRE, CURICO AD	58	-10	64	-10	64	-10
11	BERNARDO O'HIGGINS, CHILLAN AD	58	-16	58	-16	64	-16
12	CARRIEL SUR, CONCEPCION	52	-10	52	-10	52	-10
13	MANQUEHUE, TEMUCO AD	52	-16	52	-16	58	-16
14	PICHOY, VALDIVIA AD	52	-16	52	-16	52	-16
15	CAÑAL BAJO, OSORNO AD	52	-16	52	-16	52	-16
16	EL TEPUAL PUERTO MONTT, AP	46	-16	46	-16	52	-16
17	CHAITEN AD	46	-16	46	-16	46	-10
18	FUTALEUFU AD	52	-16	52	-16	52	-16
19	ALTO PALENA AD	46	-16	52	-16	52	-16
20	PUERTO AYSEN AD	46	-16	46	-16	46	-16
21	TENIENTE VIDAL, COYHAIQUE AD	46	-22	46	-22	46	-22
22	BALMACEDA AD	46	-34	46	-34	46	-34
23	CHILE CHICO AD	52	-22	52	-22	52	-22
24	LORD COCHRANE AD	46	-22	46	-22	52	-22
25	CARLOS IBAÑEZ, PUNTA ARENAS AP	46	-28	46	-28	46	-28
26	GUARDIA MARINA ZAÑARTU, PUERTO WILLIAMS AD	46	-22	46	-22	46	-22
27	el buitre aeródromo	58	-10	58	-10	64	-10
28	AZAPATA	58	-10	58	-10	64	-10
29	CHUNGARA AJATA	46	-16	46	-10	46	-10
30	CODPA	58	-10	58	-10	58	-10
31	COYACAGUA	46	-22	46	-22	46	-16
32	LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA)	46	-28	46	-22	46	-22
33	CASPANA	46	-10	52	-10	52	-10
34	CHIU-CHIU	52	-16	58	-16	58	-16
35	CONCHI EMBALSE	52	-16	52	-16	52	-16
36	LINZOR	46	-16	46	-16	46	-16
37	PARSHALL N 2	46	-16	52	-16	52	-16
38	PEINE	58	-10	64	-10	64	-10
39	CANTO DE AGUA	58	-10	64	-10	64	-10
40	LA COMPAÑÍA (VALLENAR)	58	-10	58	-10	58	-10
41	LAUTARO EMBALSE	64	-10	70	-10	70	-10
42	LOS LOROS	64	-10	64	-10	64	-10
43	SAN FELIX	64	-10	64	-10	70	-10
44	SANTA JUANA	64	-10	64	-10	64	-10
45	CAREN	64	-10	64	-10	64	-10
46	COGOTI EMBALSE	58	-10	64	-10	64	-10
47	EL TRAPICHE	58	-10	58	-10	58	-10

		Modelo basado en daño 98% Confiabilidad					
N°	ESTACIÓN	PG Clima actual		PG Clima Escenario RCP 2.6		PG Clima Escenario RCP 8.5	
		Alta	Baja	Alta	Baja	Alta	Baja
48	HURTADO	64	-10	64	-10	64	-10
49	ILLAPEL DGA	58	-10	64	-10	64	-10
50	LA LAGUNA EMBALSE	46	-22	46	-22	52	-22
51	LA ORTIGA	58	-10	64	-10	64	-10
52	LA TRANQUILLA	64	-10	64	-10	64	-10
53	LAS RAMADAS	58	-10	64	-10	64	-10
54	LOS CONDORES	58	-10	58	-10	58	-10
55	PALOMA EMBALSE	64	-10	64	-10	64	-10
56	RECOLETA EMBALSE	58	-10	58	-10	64	-10
57	RIVADAVIA	64	-16	64	-10	64	-10
58	ALICAHUE	58	-10	58	-10	64	-10
59	LAGO PEÑUELAS	52	-10	52	-10	52	-10
60	LLIU-LLIU EMBALSE	58	-10	58	-10	64	-10
61	LOS AROMOS	58	-10	58	-10	58	-10
62	QUILLOTA	58	-10	58	-10	58	-10
63	VILCUYA	64	-16	64	-16	64	-10
64	CERRO CALAN	64	-10	64	-10	64	-10
65	EL YESO EMBALSE	46	-22	46	-22	46	-16
66	LAGUNA ACULEO	64	-10	64	-10	64	-10
67	LOS PANGUILES	64	-10	64	-10	64	-10
68	MELIPILLA	58	-10	58	-10	64	-10
69	PIRQUE	58	-16	64	-16	64	-16
70	CONVENIO VIEJO	58	-10	64	-10	64	-10
71	ANCOA EMBALSE	58	-10	58	-10	58	-10
72	COLORADO	58	-16	58	-16	58	-16
73	DIGUA EMBALSE	58	-16	58	-16	58	-10
74	PARRAL	58	-10	58	-10	64	-10
75	PENCAHUE	64	-10	64	-10	64	-10
76	POTRERO GRANDE	58	-16	58	-16	64	-16
77	TALCA UC	64	-16	64	-16	64	-10
78	CARACOL	58	-10	58	-10	58	-10
79	COIHUECO EMBALSE	58	-16	64	-16	64	-16
80	DIGUILLIN	52	-10	52	-10	58	-10
81	QUILACO	58	-16	58	-16	58	-16
82	LIUCURA	52	-28	52	-28	58	-28
83	LONQUIMAY	52	-28	52	-28	58	-28
84	MALALCAHUELLO	46	-22	52	-22	52	-22
85	PUCON	52	-10	52	-10	52	-10
86	PUERTO SAAVEDRA	46	-10	46	-10	46	-10
87	TEODORO SCHMITD	52	-10	52	-10	52	-10
88	TRAIGUE	52	-16	58	-16	58	-16
89	ADOLFO MATTHEI	52	-16	52	-16	52	-16
90	COYHAIQUE(ESCUELA AGRICOLA)	46	-22	46	-22	46	-22
91	PUERTO PUYUHUAPI	46	-16	46	-16	46	-16
92	VILLA MAÑIHUALES	46	-22	46	-22	52	-22
93	PUNTA ARENAS	46	-22	46	-22	46	-22
94	TORRES DEL PAINE	46	-28	46	-28	46	-28

*Cuadro color amarillo: Indica cambio del PG futuro respecto al PG actual.

Para sintetizar los cuadros anteriores, se presentan las tablas 7-19, 7-20 y 7-21, las que representan a los modelos SHRP, LTPP 2.1 y el basado en daño LTPP 3.1, respectivamente. En estos cuadros se podrá apreciar el comportamiento de los grados de desempeño para cada modelo, principalmente se entrega la cantidad de estaciones que cambian su grado de desempeño, para un cierto escenario futuro.

Tabla 7- 19: Cambio de los PG entre el periodo actual y el futuro, utilizando el modelo SHRP.

	Número de estaciones que cambian su grado de baja temperatura PG ante el cambio climático, según el modelo SHRP			
	50 % de confiabilidad		**98 % de confiabilidad**	
Delta PG (futuro-actual)	**grado de baja T° escenario RCP 2.6**	**grado de baja T° escenario RCP 8.5**	**grado de baja T° escenario RCP 2.6**	**grado de baja T° escenario RCP 8.5**
0	88	85	89	83
1	6	9	5	11
2	0	0	0	0
	Número de estaciones que cambian su grado de alta temperatura PG ante el cambio climático, según el modelo SHRP			
	50 % de confiabilidad		**98 % de confiabilidad**	
Delta PG (futuro-actual)	**grado de alta T° escenario RCP 2.6**	**grado de alta T° escenario RCP 8.5**	**grado de alta T° escenario RCP 2.6**	**grado de alta T° escenario RCP 8.5**
0	83	71	79	66
1	11	23	15	27
2	0	0	0	1

Tabla 7- 20: Cambio de los PG entre el periodo actual y el futuro, utilizando el modelo LTPP 2.1.

	Número de estaciones que cambian su grado de baja temperatura PG ante el cambio climático, según el modelo LTPP 2.1			
	50 % de confiabilidad		**98 % de confiabilidad**	
Delta PG (futuro-actual)	**grado de baja T° escenario RCP 2.6**	**grado de baja T° escenario RCP 8.5**	**grado de baja T° escenario RCP 2.6**	**grado de baja T° escenario RCP 8.5**
0	92	89	91	85
1	2	5	3	9
2	0	0	0	0
	Número de estaciones que cambian su grado de alta temperatura PG ante el cambio climático, según el modelo LTPP 2.1			
	50 % de confiabilidad		**98 % de confiabilidad**	
Delta PG (futuro-actual)	**grado de alta T° escenario RCP 2.6**	**grado de alta T° escenario RCP 8.5**	**grado de alta T° escenario RCP 2.6**	**grado de alta T° escenario RCP 8.5**
0	83	78	83	74
1	11	16	11	20
2	0	0	0	0

Tabla 7- 21: Cambio de los PG entre el periodo actual y el futuro, utilizando el modelo basado en daño LTPP 3.1.

	Número de estaciones que cambian su grado de baja temperatura PG ante el cambio climático, según el modelo basado en daño LTPP 3.1			
	50 % de confiabilidad		**98 % de confiabilidad**	
Delta PG (futuro-actual)	**grado de baja T° escenario RCP 2.6**	**grado de baja T° escenario RCP 8.5**	**grado de baja T° escenario RCP 2.6**	**grado de baja T° escenario RCP 8.5**
0	92	89	91	85
1	2	5	3	9
2	0	0	0	0
	Número de estaciones que cambian su grado de alta temperatura PG ante el cambio climático, según el modelo basado en daño LTPP 3.1			
	50 % de confiabilidad		**98 % de confiabilidad**	
Delta PG (futuro-actual)	**grado de alta T° escenario RCP 2.6**	**grado de alta T° escenario RCP 8.5**	**grado de alta T° escenario RCP 2.6**	**grado de alta T° escenario RCP 8.5**
0	76	62	75	57
1	18	32	19	37
2	0	0	0	0

De las tablas anteriores, se puede deducir que, en los tres modelos los mayores cambios de PG ocurren en el grado de alta temperatura, esto porque en la mayoría de las estaciones chilenas, al grado de baja temperatura se le asigna el PG -10°C, el cual muchas veces posee una holgura considerable, respecto a la temperatura mínima del pavimento, por lo cual el delta climático no influye de gran manera en la clasificación SUPERPAVE.

También se aprecia, que el modelo que posee la mayor cantidad de estaciones con aumento de PG, es el basado en daño, con 37 estaciones para el grado de alta temperatura, escenario RCP 8.5 y 98% de confiabilidad.

En general, se aprecia que el calentamiento global, provocado por la emisión de gases de efecto invernadero, repercuten en el diseño de pavimentos flexibles, ya que una cantidad considerable de estaciones, deben cambiar su grado de desempeño, en la mayoría de sus casos teniendo que aumentar el grado de alta temperatura. Los cambios de PG, aunque sean de un grado, son significativos, ya que la clasificación SUPERPAVE está diseñada con una gran holgura en sus intervalos.

Comparando los mapas de zonificación, se aprecia que los mayores cambios ocurren para el escenario RCP 8.5, ya que este es el más pesimista y por lo cual provoca un mayor aumento en la temperatura del pavimento. Teniendo en cuenta lo anterior, solo se comparará los mapas actuales con los de ese escenario, para los tres modelos.

Los cambios que se generan en las zonificaciones considerando ligantes tradicionales son menos significativos que los cambios de los grados de desempeño teóricos de cada estación, debido al rango de temperaturas que tiene cada ligante. Más detalle acerca de este punto en las siguientes secciones.

- **Comparación de mapas de zonificación SHRP (escenario actual y RCP 8.5)**

Para una confiabilidad del 50 %, el mapa de zonificación solo cambia para el sector norte, más específicamente para cuatro estaciones Peine, Azapata, Buitre AD y Chacalluta, que pasan de ligante PG 58-28 a PG 64-22.

El mapa de zonificación para un 98% de confiabilidad sufre varios cambios, el más relevante es la inclusión de un nuevo ligante asfáltico el PG 70-16, en las estaciones de Pucón, Coihueco Embalse y Laguna Aculeo. En la región de Aysén, tres estaciones son asignadas con el ligante PG 64-22, al igual que en las cercanías de Osorno, donde dos estaciones son asignadas con el mismo ligante. Para el sector norte de Chile se mantienen los cambios mencionados en el párrafo anterior.

- **Comparación de mapas de zonificación LTPP 2.1(escenario actual y RCP 8.5)**

Teniendo en cuenta una confiabilidad del 98 %, los cambios en el mapa no son significativos, Laguna Embalse y Malalcahuello cambian su ligante a PG 64-22, afectando en una pequeña área de influencia. En la región de Aysén ocurre lo mismo para las estaciones de Alto Palena y Mañihuales, pero afectando un área considerable. El mapa para una confiabilidad del 50 % no sufre cambios.

- **Comparación de mapas de zonificación modelo basado en daño LTPP 3.1 (escenario actual y RCP 8.5)**

Para una confiabilidad del 50%, el mapa se modifica en el sector norte para 4 estaciones, las cuales son Peine, Azapata, Buitre AD y Chacalluta, que pasan de ligante PG 58-28 a PG 64-22. Además de incorporarse el ligante PG 70-16 en dos pequeñas zonas de la tercera región. Para una confiabilidad del 98%, se agrega que dos estaciones de la novena región se le asigna ligante PG 58-28 en desmedro del PG 52-34.

Uno de los objetivos del presente trabajo, es conocer la zona de Chile más afectada por el cambio climático, para ello se utilizarán las llamadas zonas naturales, las cuales se describen en la tabla 7-22, además se muestra la distribución de estaciones para cada zona.

Tabla 7- 22: Zonas naturales de Chile y distribución de estaciones.

	Norte Grande	Norte Chico	Zona Central	Zona Sur	Zona Austral
Regiones	Arica y Parinacota Tarapacá Antofagasta Norte de Atacama	Sur de Atacama Coquimbo Norte de Valparaíso	Sur de Valparaíso Región Metropolitana de Santiago O´Higgins Maule Norte del Biobío	Sur del Biobío Araucanía Los Ríos Norte de Los Lagos	Sur de Los Lagos Aysén Magallanes
Límite Sur	Río Copiapó (latitud 27°S)	Río Aconcagua (latitud 33°S)	Río Biobío (latitud 37°S)	Seno de Reloncaví (latitud 42°S)	-
Cantidad de estaciones	16	24	26	13	15

Posteriormente, se calcula la cantidad de estaciones que cambian su grado de desempeño, ya sea el grado de baja o alta temperatura, para cada uno de los modelos en estudio. Estos cambios se ilustran en las figuras 7-6, 7-7 y 7-8, las cuales representan a los modelos SHRP, LTPP 2.1 y el basado en daño LTPP 3.1, respectivamente.

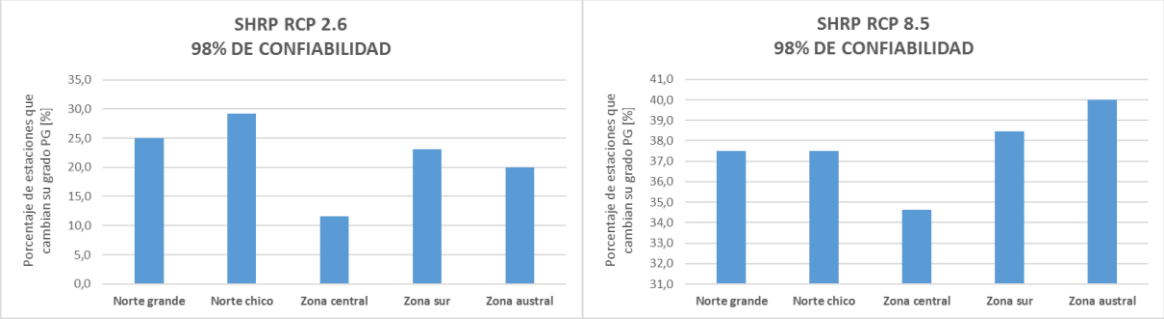


Figura 7- 6: Porcentaje de estaciones que cambian su PG debido al cambio climático, modelo SHRP y una confiabilidad del 98%.

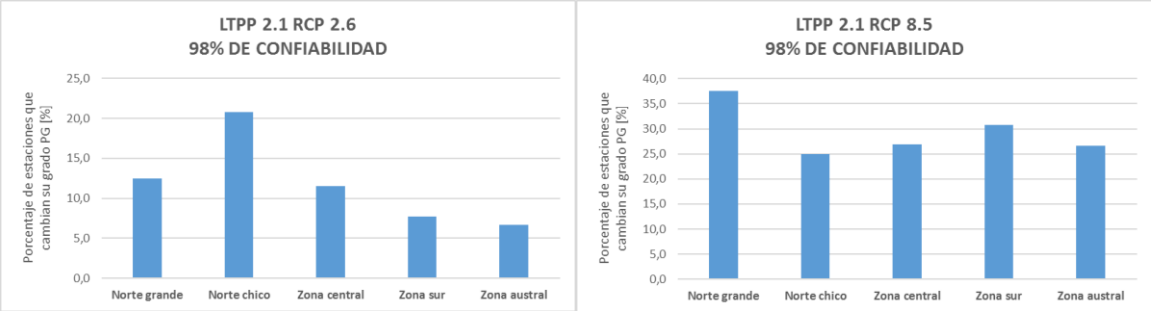


Figura 7- 7: Porcentaje de estaciones que cambian su PG debido al cambio climático, modelo LTPP 2.1 y una confiabilidad del 98%.

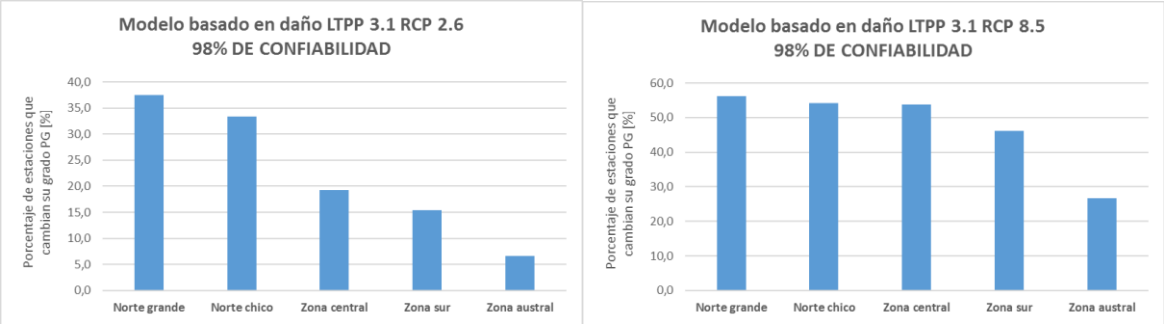


Figura 7- 8: Porcentaje de estaciones que cambian su PG debido al cambio climático, modelo basado en daño LTPP 3.1 y una confiabilidad del 98%.

De estos gráficos, se puede rescatar que para un escenario futuro RCP 2.6, la zona que se vería más afectada por el cambio climático en el ámbito de la elección del ligante asfáltico, sería el Norte Chico, puesto que, para dos modelos, presenta el mayor porcentaje de estaciones con aumento de grado PG y para el modelo restante obtiene un alto porcentaje. Para escenario RCP 8.5, el Norte Grande obtiene el mayor porcentaje para dos modelos y para el tercero un porcentaje muy cercano al máximo, es por ello que esta zona sería la más afectada por el cambio climático.

En el anexo B, se presenta el mismo análisis para una 50% de confiabilidad.

8.CONCLUSIONES

- Se lograron obtener zonificaciones SUPERPAVE para el territorio chileno utilizando dos nuevos métodos (LTPP 2.1 y LTPP 3.1), con un total de 94 estaciones, aplicando un método basado en clasificación climática de Köppen y curvas de nivel. Con esto se pudo demostrar que en Chile el método SUPERPAVE, puede ser implementado desde el punto de vista de la elección del ligante asfáltico, a pesar de la poca cantidad de estaciones existentes en comparación a EEUU.

- Las zonificaciones SUPERPAVE fueron realizadas, utilizando principalmente tres ligantes asfálticos tradicionales (PG 64-22, PG 58-22, PG 52-34), lo importante de lo anterior, recae en que estos ligantes podrían ser provistos por empresas locales del rubro. Cabe mencionar que para zonas de tránsito lento (peajes, zonas de pesaje) y de volúmenes altos de tránsito, se debería aplicar un aumento en el grado de alta temperatura del ligante recomendado en la zonificación.

- Según los resultados obtenidos, el modelo LTPP 2.1 para el cálculo del grado de baja temperatura, resulta menos conservador que el modelo original SHRP, ya que asigna grados de desempeño mayores para una misma estación, lo cual se asemeja a lo que ocurre en terreno. Para el grado de alta temperatura, el modelo LTPP 2.1 posee una confiabilidad mayor que el original (SHRP), puesto que considera la variabilidad del modelo.

- El modelo basado en daño (LTPP 3.1), recomienda ligantes asfálticos en el supuesto de que la falla de ahuellamiento ocurre por un daño acumulado en el tiempo, el cual es provocado por las temperaturas máximas diarias de los 6 meses más calurosos del año. En Chile el periodo de altas temperaturas, se extiende por un periodo más corto de tiempo, es por ello que, al utilizar este modelo en el país, se obtienen ligantes asfálticos más blandos a altas temperaturas.

- Se obtuvo una concordancia con el trabajo realizado por Morales (2013), ya que los ligantes elegidos con el modelo LTPP 2.1 son aplicables a todas las zonas con las que se trabajó en dicha investigación.

- Los ligantes seleccionados, utilizando las fórmulas LTPP 2.1, no son del todo aplicables a los grados de desempeño obtenidos por Segovia (2015) con el método SHRP, lo anterior debido a que en 9 estaciones los ligantes no cumplirían algunos de los 3 requisitos (temperatura intermedia, alta y baja temperatura), estas estaciones se ubican principalmente en el sector cordillerano de la zona Norte y central.

- El calentamiento global en el que el planeta se ve inmerso por la emisión desproporcionada de gases de efecto invernadero, produce un aumento de las temperaturas de los pavimentos asfálticos, lo cual afecta el diseño del pavimento asfáltico, más específicamente, en la selección del ligante asfáltico.

- La gran diferencia que provoca el cambio climático en los mapas de zonificación, es la inclusión de un nuevo ligante asfáltico, el cual es el PG 70-16, ya que al aumentar la temperatura del aire también ocurre lo mismo con la del pavimento, ante esto la metodología requiere un ligante que posea un mejor desempeño para las altas temperaturas.

- El modelo más afectado por el cambio climático resulta ser el basado en daño LTPP 3.1, ya que para el escenario futuro RCP 8.5, presenta un aumento en los grados PG para un 39% de las estaciones.

- Considerando los escenarios RCP 2.6 y RCP 8.5, las zonas naturales de Chile más afectadas por el cambio climático serían el Norte Chico y Norte Grande, respectivamente.

9. GLOSARIO

AAPT:	Association of Asphalt Paving Technologists.
BBR:	Bending Beam Rheometer.
CMIP5:	Coupled Model Intercomparison Project Phase 5.
DD:	Degree-Days.
DGA:	Dirección General de Aguas.
DMC:	Dirección Meteorológica de Chile.
DSR:	Dynamic Shear Rheometer.
DTT:	Direct Tension Test.
IPCC:	Intergovernmental Panel on Climate Change.
LTPP:	Long-Term Pavement Performance Program.
MIROC5:	Model for Interdisciplinary Reaearch on Climate V.5.
NCL:	Ncar Command Language.
PAV:	Pressure Aging Vessel.
PG:	Performance Grade.
PNUMA:	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
RCP:	Representative Concentration Pathways.
RTFO:	Rolling Thin Film Oven.
RV:	Rotational Viscometer.
SHRP:	Strategic Highway Research Program.
SUPERPAVE:	Superior Performance Asphalt Pavement.
WMO:	World Meteorological Organization.
WRF:	Weather Research and Forecasting Model.

10.REFERENCIAS

- Alcafuz R., Arroyo R., Delgado R., Hernández Y., Morales J. y Ramos I., “Informe Final: Análisis de los Resultados Convenio Alta Dirección Pública Director Dirección Meteorológica de Chile Objetivo N° 3”. Dirección meteorológica de Chile, 2014.

- Araya F., González A., Delgadillo R., Wahr C. y García G., “Caracterización Reológica Avanzada de Betunes Tradicionales y Modificados Utilizados Actualmente en Chile”. Revista Ingeniería de Construcción, Vol. 27, Nº3, pp.198-210, 2012.

- AR4 IPCC, 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri,R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 p.

- AR5 IPCC, 2014: Cambio climático 2013: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Meyer, L. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 p.

- Contreras, C. “Mapa de Recomendación de Uso de Ligantes Asfalticos Según Clasificación Superpave, Aplicado al Tramo entre Santiago y Los Ángeles”. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile, 2007.

- “Manual de Carreteras”. MOP, Edición 2015. Ministerio de Obras Públicas.

- Mohseni A. “LTPP Seasonal Asphalt Concrete (AC) Pavement Temperature Models” Federal Highway Administration Report N° FHWARD-97-103, 1998.

- Mohseni A., Carpenter S. y D´Angelo J. “Development of SUPERPAVE High-Temperature Performance Grade Based on Rutting Damage”. Association of Asphalt Paving Technologists 2005 Annual Meeting Long Beach, California, 2005.

- Morales D. “Zonificación de Temperaturas para la Evaluación y Aplicación de Mezclas Asfálticas Diseñadas Según la Metodología SUPERPAVE para el uso en Chile”. Memoria para optar al Título de Ingeniero Constructor, Universidad de Talca, 2013.

- Rioseco, R. y Tesser, C. “Cartografía Interactiva de los climas de Chile” [en línea]. Instituto de Geografía. Pontificia Universidad Católica de Chile. <www.uc.cl/sw_educ/geografia/cartografiainteractiva>, 2006. [Ultimo acceso 28 de noviembre de 2016].

- Rulamahue.cl. (2017). Chile, clima. [En línea] Disponible en: http://www.rulamahue.cl/mapoteca/presentaciones/chile_clima.html [Ultimo acceso 28 de noviembre de 2016].

- Segovia, M. “Zonificación SUPERPAVE para Chile y Estudio Preliminar de la Influencia del Cambio Climático en el Desempeño de Pavimentos en Chile”. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil, UTFSM, 2015.

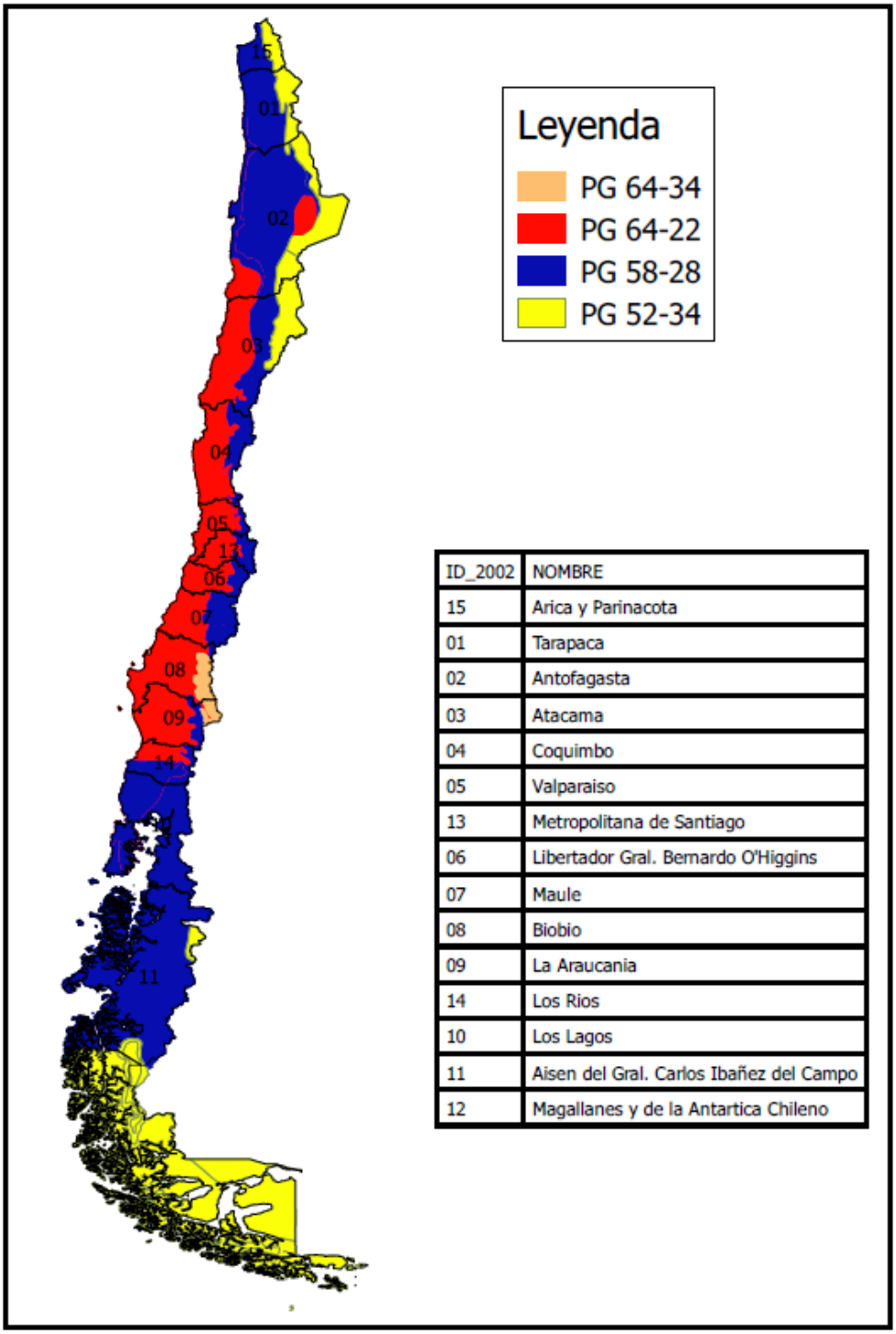
- Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, W. Wang, y J. G. Powers, 2005: “A description of the Advanced Research WRF Version 2”. NCAR Tech Notes-468+STR, 88 p.

- Watanabe, M., Suzuki, T., O’ishi, R., Komuro, Y., Watanabe, S., & Emori, S. et al. (2010). Improved Climate Simulation by MIROC5: Mean States, Variability, and Climate Sensitivity. Journal Of Climate, 23: 6312-6335. doi:10.1175/2010JCLI3679.1.

11. ANEXOS

ANEXO A

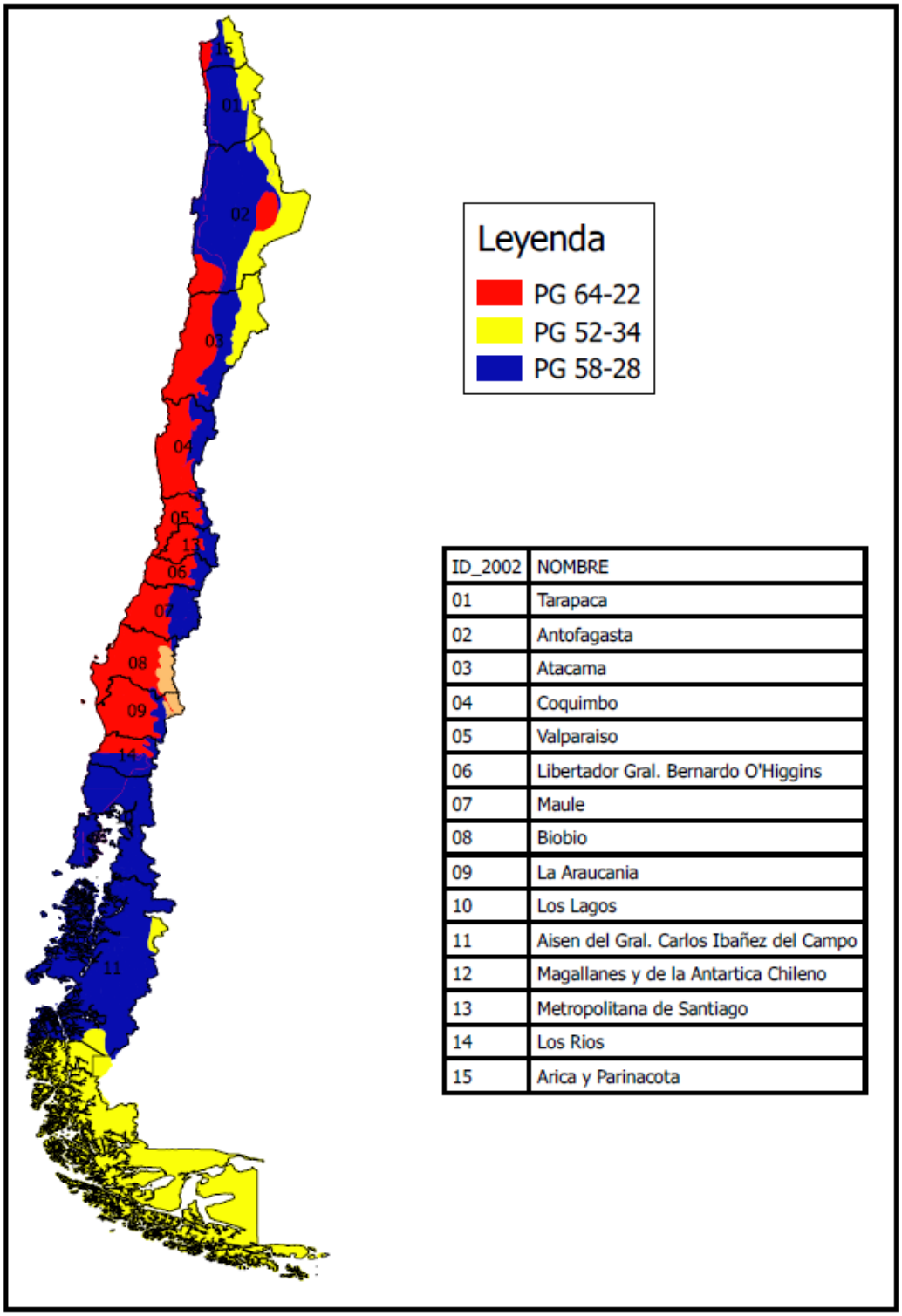
Zonificación SUPERPAVE de Chile utilizando el modelo SHRP, una confiabilidad del 50% y el escenario futuro RCP 2.6



ID_2002	NOMBRE
15	Arica y Parinacota
01	Tarapaca
02	Antofagasta
03	Atacama
04	Coquimbo
05	Valparaiso
13	Metropolitana de Santiago
06	Libertador Gral. Bernardo O'Higgins
07	Maule
08	Biobio
09	La Araucania
14	Los Rios
10	Los Lagos
11	Aisen del Gral. Carlos Ibañez del Campo
12	Magallanes y de la Antartica Chileno

Mapa para condiciones de circulación de alta velocidad y volumen de tránsito bajo según el anexo C.

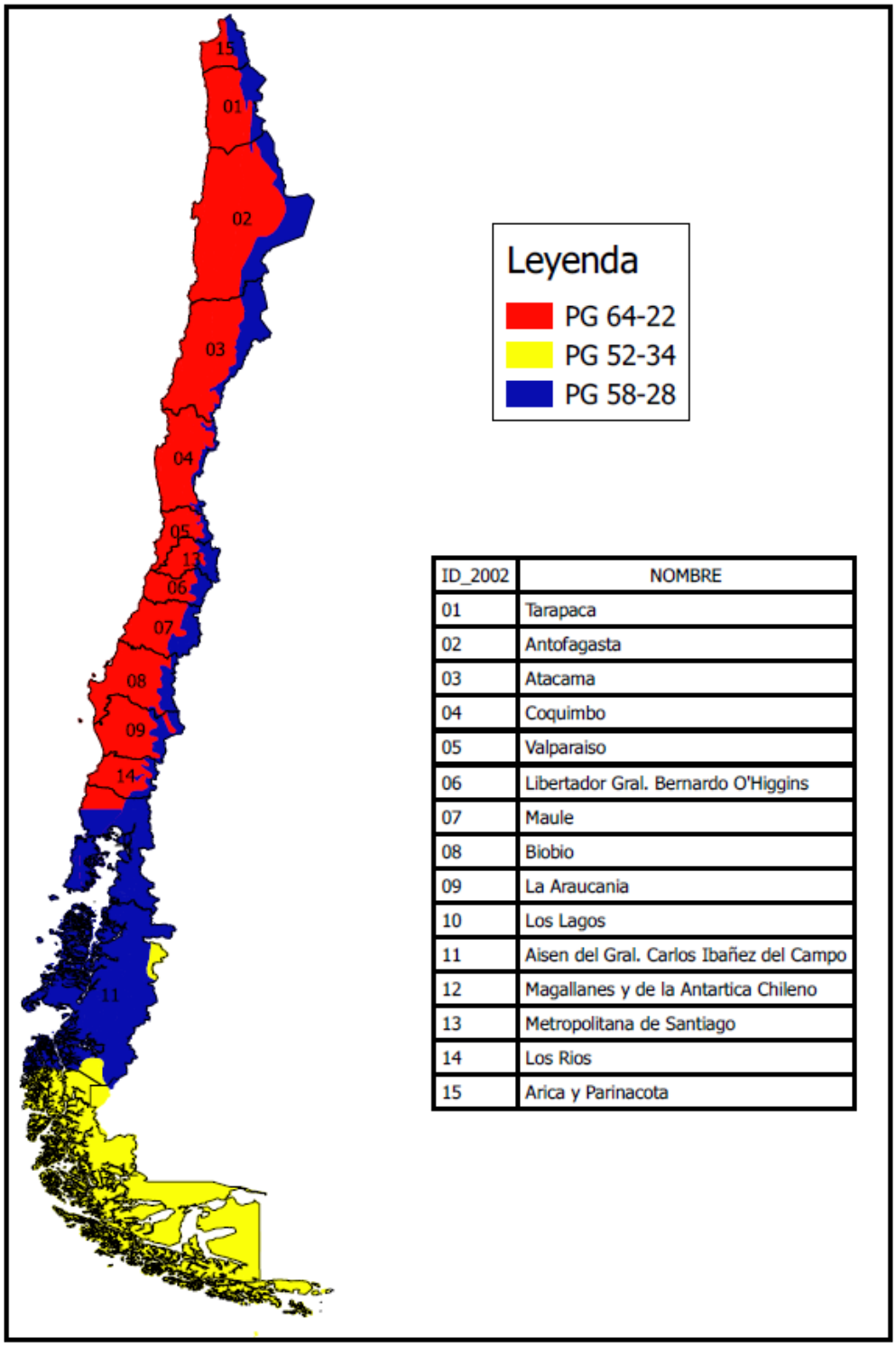
Zonificación SUPERPAVE de Chile utilizando el modelo SHRP, una confiabilidad del 50% y el escenario futuro RCP 8.5



ID_2002	NOMBRE
01	Tarapaca
02	Antofagasta
03	Atacama
04	Coquimbo
05	Valparaiso
06	Libertador Gral. Bernardo O'Higgins
07	Maule
08	Biobio
09	La Araucania
10	Los Lagos
11	Aisen del Gral. Carlos Ibañez del Campo
12	Magallanes y de la Antartica Chileno
13	Metropolitana de Santiago
14	Los Rios
15	Arica y Parinacota

Mapa para condiciones de circulación de alta velocidad y volumen de tránsito bajo según el anexo C.

Zonificación SUPERPAVE de Chile utilizando el modelo LTPP 2.1, una confiabilidad del 98% y el escenario futuro RCP 2.6

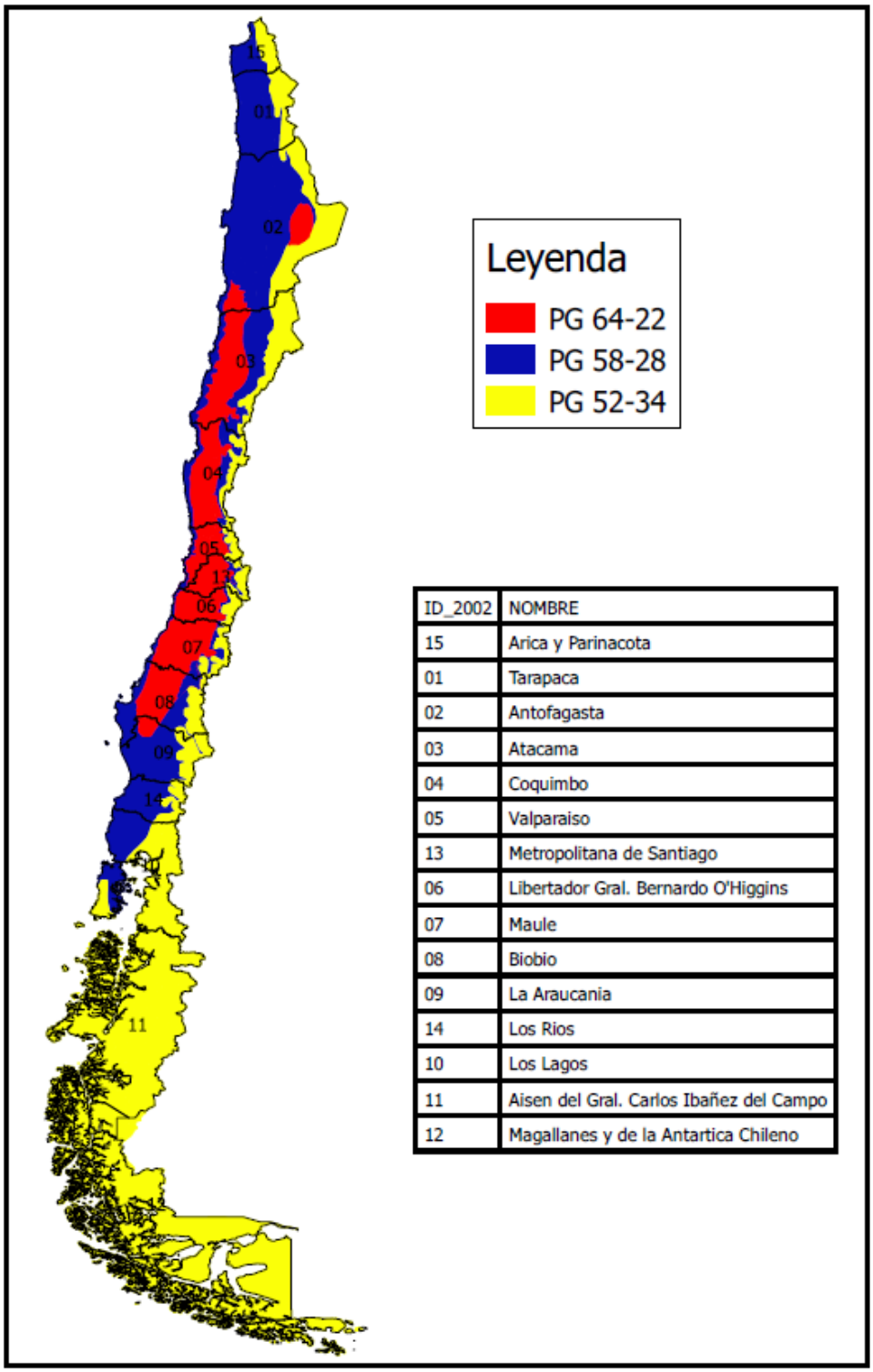


ID_2002	NOMBRE
01	Tarapaca
02	Antofagasta
03	Atacama
04	Coquimbo
05	Valparaiso
06	Libertador Gral. Bernardo O'Higgins
07	Maule
08	Biobio
09	La Araucania
10	Los Lagos
11	Aisen del Gral. Carlos Ibañez del Campo
12	Magallanes y de la Antartica Chileno
13	Metropolitana de Santiago
14	Los Rios
15	Arica y Parinacota

**Balmaceda PG 52-34: No cumple el grado de alta temperatura con una confiabilidad de 91%.*
**Liucura PG 58-28: No cumple el grado de alta temperatura con una confiabilidad de 77%.*
**Lonquimay PG 58-28: No cumple el grado de alta temperatura con una confiabilidad de 91%.*

****Mapa para condiciones de circulación de alta velocidad y volumen de tránsito bajo según el anexo C.***

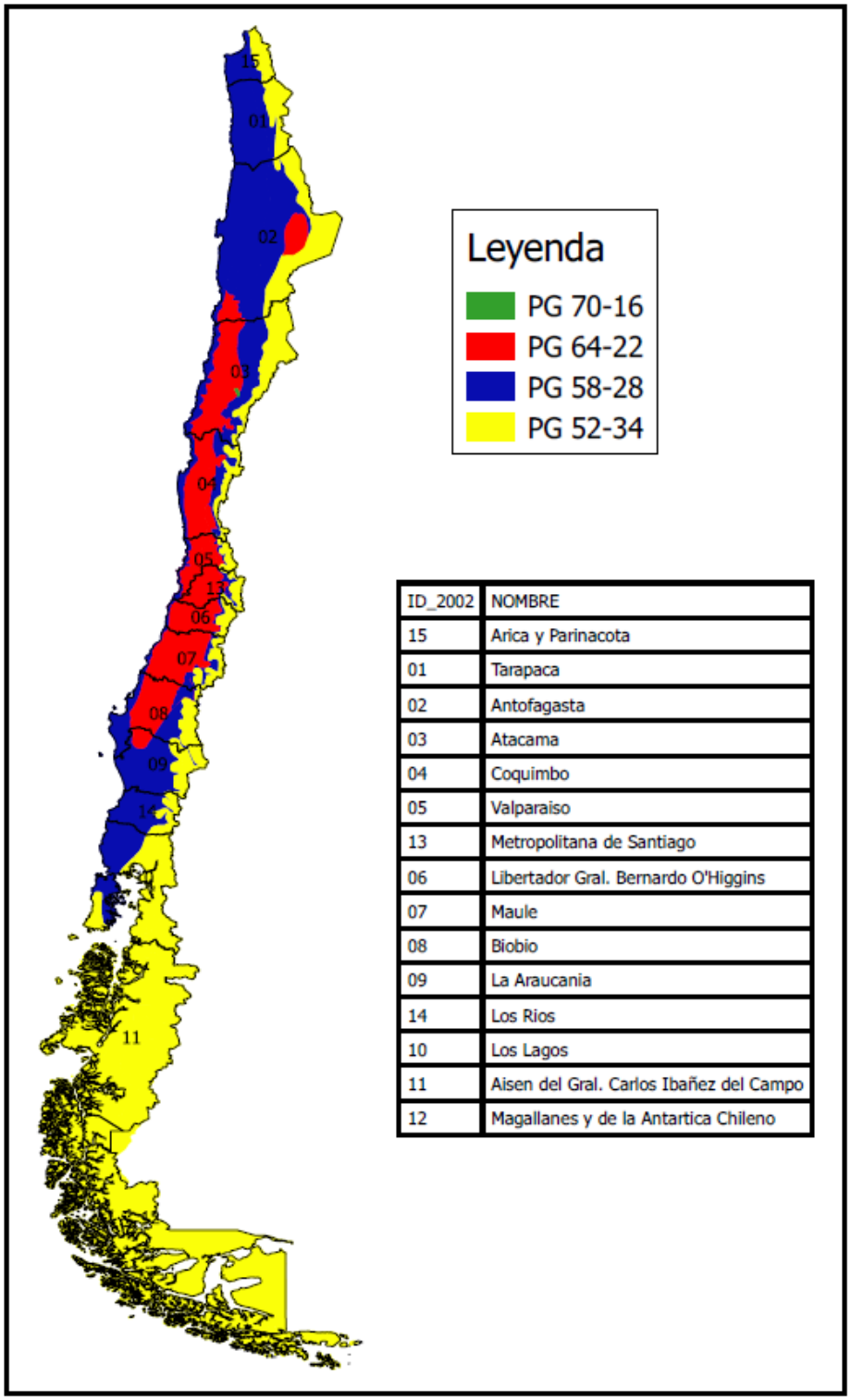
Zonificación SUPERPAVE de Chile utilizando el modelo basado en daño LTPP 3.1, una confiabilidad del 50% y el escenario futuro RCP 2.6



ID_2002	NOMBRE
15	Arica y Parinacota
01	Tarapaca
02	Antofagasta
03	Atacama
04	Coquimbo
05	Valparaiso
13	Metropolitana de Santiago
06	Libertador Gral. Bernardo O'Higgins
07	Maule
08	Biobio
09	La Araucania
14	Los Rios
10	Los Lagos
11	Aisen del Gral. Carlos Ibañez del Campo
12	Magallanes y de la Antartica Chileno

Mapa para condiciones de circulación de alta velocidad y volumen de tránsito bajo según el anexo C.

Zonificación SUPERPAVE de Chile utilizando el modelo basado en daño LTPP 3.1, una confiabilidad del 98% y el escenario futuro RCP 2.6



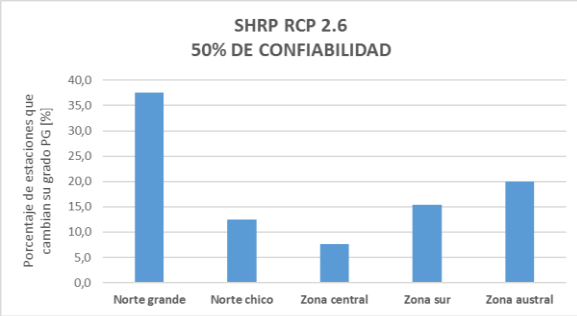
ID_2002	NOMBRE
15	Arica y Parinacota
01	Tarapaca
02	Antofagasta
03	Atacama
04	Coquimbo
05	Valparaiso
13	Metropolitana de Santiago
06	Libertador Gral. Bernardo O'Higgins
07	Maule
08	Biobio
09	La Araucania
14	Los Rios
10	Los Lagos
11	Aisen del Gral. Carlos Ibañez del Campo
12	Magallanes y de la Antartica Chileno

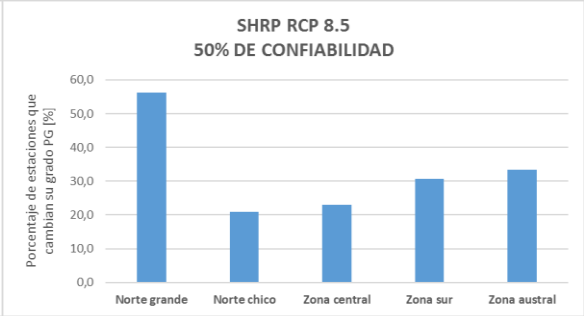
**Balmaceda AD PG 52-34: Falla la temperatura intermedia para un 98% de confiabilidad.*

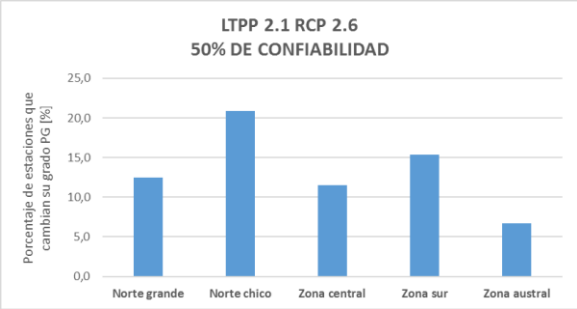
****Mapa para condiciones de circulación de alta velocidad y volumen de tránsito bajo según el anexo C.***

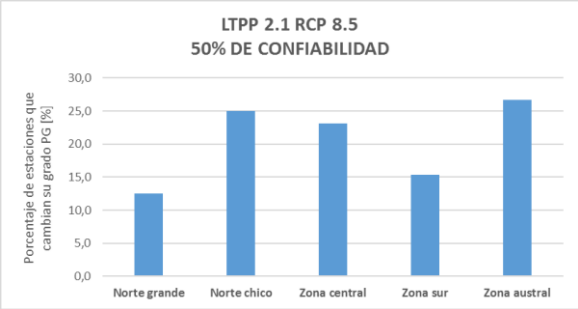
ANEXO B

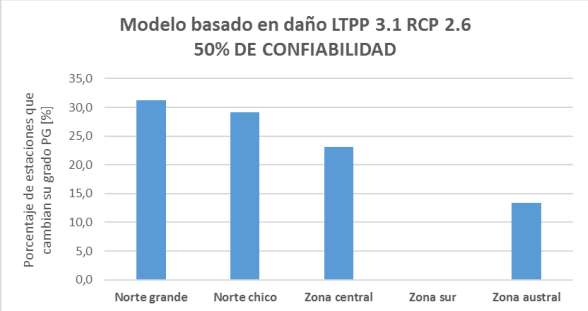
Gráficos de porcentaje de estaciones que aumentan su PG con el cambio climático para cada zona natural de Chile. Para una confiabilidad del 50%.

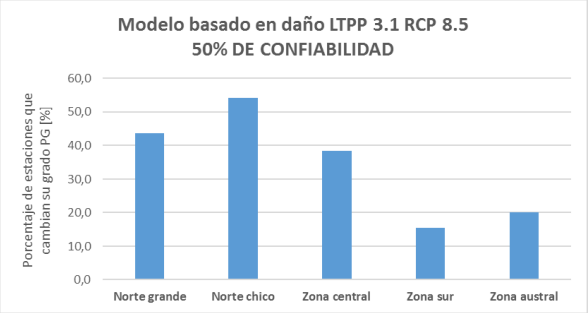












ANEXO C

Condiciones para clasificar la velocidad de circulación y volumen de tránsito.

- Velocidad de circulación:

Velocidad de circulación		
Tipo	**Condición**	**Recomendaciones con respecto a mapa de zonificación**
Alta	Circulación normal cercana a los [90 Kms/Hr], por ejemplo, una carretera.	No realizar cambios.
Baja	Zonas de circulación lenta, por ejemplo, una zona de peajes.	Aumentar un nivel la alta temperatura (6 C°).
Estática	Zonas de detención, por ejemplo, una estación de peaje.	Aumentar dos niveles la alta temperatura (12 C°).

- Volumen de tránsito:

Volumen de tránsito		
Tipo	**Condición**	**Recomendaciones con respecto a mapa de zonificación**
Bajo	Menor a 3 millones de Ejes Equivalentes (EE).	No realizar cambios.
Medio	Entre 3 y 30 millones de Ejes Equivalentes (EE).	Aumentar un nivel la alta temperatura (6 C°).
Alto	Mayor a 30 millones de Ejes Equivalentes (EE).	Aumentar dos niveles la alta temperatura (12 C°).