

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**“MAPA DE GRADO DE DESEMPEÑO PARA LIGANTES ASFÁLTICOS SEGÚN
LA CLASIFICACIÓN SUPERPAVE, REGIÓN TACNA – 2023”**

TESIS

Presentada por:

Bach. Norvin Joel Mamani Vargas

Bach. Jean Jorge Pérez Tupayachi

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

TACNA – PERÚ

2024

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**“MAPA DE GRADO DE DESEMPEÑO PARA LIGANTES ASFÁLTICOS SEGÚN
LA CLASIFICACIÓN SUPERPAVE, REGIÓN TACNA – 2023”**

Tesis sustentada y aprobada el día 15 de marzo de 2024 estando integrado el
Jurado Calificador por:

PRESIDENTE

:

.....
Ph.D. Ing. Edwin Martín Pino Vargas

SECRETARIO

:

.....
Dr. Ing. Victor Yapuchura Platero

VOCAL

:

.....
Mtro. Ing. César José Avendaño Jihuallanga

ASESOR DE TESIS

:

.....
Dr. Ing. Martín Paucara Rojas

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Dr. Ing. Martín Paucara Rojas, en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad N° 769-2023-FIAG/UNJBG de la tesis denominada: “MAPA DE GRADO DE DESEMPEÑO PARA LIGANTES ASFÁLTICOS SEGÚN LA CLASIFICACIÓN SUPERPAVE, REGIÓN TACNA – 2023”, presentado por el Bach. Norvin Joel Mamani Vargas y Bach. Jean Jorge Pérez Tupayachi, para optar el título profesional de Ingeniero Civil, habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajos de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software Antiplagio TURNITIN cuenta con el nivel de similitud cuyo porcentaje es 13%, por lo que CERTIFICO LA SIMILARIDAD de la tesis, la cual está de acuerdo al nivel PERMITIDO, para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio Institucional.

Se emite el presente certificado con fines de continuar con los trámites respectivos para su obtención del título profesional.



DR. ING. MARTÍN PAUCARA ROJAS
ASESOR DE TESIS
DNI N° 00451289

DEDICATORIA

A Dios quien es nuestro soporte y fortaleza ante cada adversidad.

A mi madre, Uvaldina, quien siempre me ha brindado su amor y apoyo incondicional, a mi familia quienes son mi mayor motivación.

Norvin Joel Mamani Vargas

A mis padres, Jorge e Irma, por apoyarme en toda mi etapa universitaria, a mi hermano Johann por su apoyo siempre en la parte académica y a toda mi familia en general por su apoyo y fuerzas

Jean Jorge Pérez Tupayachi

AGRADECIMIENTO

A dios, por darnos la vida y permitirnos superar cada obstáculo para cumplir nuestras metas.

A todos los docentes que han cultivado en nosotros el amor a la carrera, por las enseñanzas brindadas y el apoyo incondicional.

A nuestros padres, hermanos, familiares y amistades, quienes siempre han estado a nuestro lado con una palabra de aliento y nos han motivado a superarnos día a día.

CONTENIDO

	Página
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.1. TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	6
1.3.1. Problema general.....	6
1.3.2. Problema específico.....	6
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	7
1.5. OBJETIVOS.....	9
1.5.1. Objetivo general.....	9
1.5.2. Objetivo específico.....	9
1.6. HIPÓTESIS.....	9
1.6.1. Hipótesis general.....	9
1.6.2. Hipótesis específica.....	10
1.7. VARIABLES.....	10
1.7.1. Variable independiente.....	10
1.7.2. Variable dependiente.....	10

1.8. LIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	11
1.8.1. De ámbito.....	11
1.8.2. De recursos	11
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	12
2.1. MARCO HISTÓRICO	12
2.2. ANTECEDENTES	13
2.2.1. Investigaciones nacionales.....	13
2.2.2. Investigaciones internacionales	15
2.3. BASES TEÓRICAS	18
2.3.1. Materiales asfálticos	18
2.3.2. Metodología SUPERPAVE.....	19
2.3.3. Grado de desempeño (PG).....	24
2.3.4. Confiabilidad	28
2.3.5. Modelos matemáticos	30
2.3.6. Corrección del PG por velocidad y nivel de tráfico	33
2.3.7. Características geográficas de la región Tacna:.....	33
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....	37
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	37
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	37
3.3. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	37
3.3.1. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú	38
3.3.2. Proyecto POWER de la NASA.....	39
3.4. INSTRUMENTOS DE INGENIERÍA	39
3.5. FLUJO DE TRABAJO	40
CAPÍTULO IV. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	41
4.1. DATOS CLIMÁTICOS.....	41
4.1.1. Características de los datos requeridos	41

4.1.2. Estaciones climáticas de SENAMHI	41
4.1.3. Proyecto POWER de la NASA.....	46
4.1.4. Escala y periodo de los datos.....	46
4.1.5. Datos obtenidos	48
4.1.6. Organización de datos.....	49
4.2. CÁLCULO DE LA TEMPERATURA DEL AIRE	51
4.2.1. Prueba de normalidad	52
4.2.2. Cálculo de promedio y desviación estándar	55
4.2.3. Temperatura máxima del aire con una confiabilidad del 98%	59
4.2.4. Temperatura mínima del aire con una confiabilidad del 98%	60
4.3. CÁLCULO DE LA TEMPERATURA DEL PAVIMENTO.....	63
4.3.1. Temperatura máxima del pavimento	64
4.3.2. Temperatura mínima del pavimento	66
4.4. CÁLCULO DEL GRADO DE DESEMPEÑO	72
CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE RESULTADOS	76
5.1. DATOS CLIMÁTICOS.....	76
5.1.1. Limitación de los datos del proyecto POWER de la NASA	76
5.1.2. Limitación de las estaciones meteorológicas del SENAMHI.....	77
5.1.3. Zonificación ideal	77
5.2. TEMPERATURA DEL AIRE.....	80
5.3. TEMPERATURA DEL PAVIMENTO	82
5.3.1. Relación con la temperatura del aire	82
5.3.2. Modelos matemáticos	83
5.4. GRADO DE DESEMPEÑO.....	84
5.5. ZONIFICACIÓN DE ACUERDO A LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS DEL GRADO DE DESEMPEÑO	85
5.5.1. Metodología realizada	85

5.5.2. Resultados.....	89
5.5.3. Comparación con otros resultados.....	90
5.6. CORRECCIÓN DEL PG EN FUNCIÓN AL TRÁFICO Y VELOCIDAD	90
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES.....	95
CAPÍTULO VII. RECOMENDACIONES.....	97
BIBLIOGRAFÍA.....	99
ANEXOS.....	104
MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	158

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1 <i>Ensayos de la Metodología SUPERPAVE para ligante asfáltico.</i>	21
Tabla 2 <i>Asfaltos definidos por el método SUPERPAVE.</i>	26
Tabla 3 <i>Ajuste del Grado de desempeño velocidad y nivel de tráfico</i>	33
Tabla 4 <i>Estaciones climáticas en la provincia de Candarave</i>	42
Tabla 5 <i>Estaciones climáticas en la provincia Jorge Basadre</i>	43
Tabla 6 <i>Estaciones climáticas en la provincia y departamento de Tacna</i>	43
Tabla 7 <i>Estaciones climáticas en la provincia de Tarata</i>	44
Tabla 8 <i>Estaciones climáticas en el departamento de Moquegua y Puno</i>	44
Tabla 9 <i>Disponibilidad de datos de acceso libre en la página web del SENAMHI en el departamento de Tacna</i>	47
Tabla 10 <i>Disponibilidad de datos de acceso libre en la página web del SENAMHI en los departamentos de Moquegua y Puno</i>	48
Tabla 11 <i>Temp. máximas y mínimas del aire por año en la estación Jorge Basadre</i> ..	51
Tabla 12 <i>Promedio y desviación estándar de la temperatura promedio de los 7 días consecutivos más calurosos anuales en las estaciones del departamento de Tacna</i>	56
Tabla 13 <i>Promedio y desviación estándar de la tem. promedio de los 7 días consecutivos más calurosos anuales en las estaciones aledañas al departamento de Tacna</i>	57

Tabla 14	<i>Promedio y desviación estándar de la temperatura mínima anual en las estaciones aledañas al departamento de Tacna.</i>	57
Tabla 15	<i>Promedio y desviación estándar de la temperatura mínima anual en las estaciones del departamento de Tacna</i>	58
Tabla 16	<i>Resumen de la máxima y mínima temp. del aire en est. del dep. de Tacna</i>	62
Tabla 17	<i>Resumen de la máxima y mínima temperatura del aire en algunas estaciones de los departamentos de Moquegua y Puno</i>	63
Tabla 18	<i>Resumen de datos de la estación Jorge Basadre.</i>	63
Tabla 19	<i>Resumen de temperaturas máximas del pavimento en la est. Jorge Basadre</i>	66
Tabla 20	<i>Resumen de temperaturas mínimas del pavimento en la est. Jorge Basadre</i>	68
Tabla 21	<i>Temperatura. máxima del pav. según modelos matemáticos en est. del dep. de Tacna</i>	69
Tabla 22	<i>Temperatura máxima del pavimento según modelos matemáticos en algunas estaciones de los departamentos de Moquegua y Puno.</i>	70
Tabla 23	<i>Temperatura mínima del pavimento según modelos matemáticos en algunas estaciones de los departamentos de Moquegua y Puno</i>	70
Tabla 24	<i>Temperatura mínima del pavimento según modelos matemáticos en estaciones del departamento de Tacna.</i>	71
Tabla 25	<i>Grado de desempeño en las estaciones del departamento de Tacna.</i>	74
Tabla 26	<i>PG en las estaciones de los departamentos de Moquegua y Puno</i>	75

Tabla 27 <i>Ordenamiento del grado de desempeño</i>	86
Tabla 28 <i>Estaciones, ubicaciones y nivel para interpolación en el departamento de Tacna</i>	87
Tabla 29 <i>Estaciones, ubicaciones y nivel para interpolación en Moquegua y Puno</i> ...	88
Tabla 30 <i>Corrección por ejes equivalentes y velocidad del tráfico.</i>	94

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 <i>Compactador giratorio SUPERPAVE modelo: LXY-150</i>	21
Figura 2 <i>Algoritmo de diseño SUPERPAVE</i>	23
Figura 3 <i>Grado de desempeño de un ligante asfáltico</i>	25
Figura 4 <i>Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG, tabla 1 de AASHTO M320</i>	27
Figura 5 <i>Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG, tabla 2 de AASHTO M320</i>	28
Figura 6 <i>Campana de Gauss para temperaturas observadas del aire</i>	29
Figura 7 <i>Mapa climático de Tacna</i>	34
Figura 8 <i>Flujo de trabajo para desarrollar el proyecto de investigación</i>	40
Figura 9 <i>Ubicación de las estaciones en el departamento de Tacna</i>	42
Figura 10 <i>Ubicación de estaciones climáticas utilizadas</i>	45
Figura 11 <i>Almacenamiento de data</i>	49
Figura 12 <i>Datos por año de cada estación y temperaturas requeridas</i>	50
Figura 13 <i>Prueba de normalidad en SPSS</i>	53
Figura 14 <i>Gráfico normal de la Máxima temperatura promedio</i>	54
Figura 15 <i>Gráfico normal de la Temperatura más fría</i>	54
Figura 16 <i>Histograma de la Máxima temperatura promedio</i>	55

Figura 17	<i>Histograma de la Temperatura más fría</i>	55
Figura 18	<i>Curva normal ajustada a la máx. temperatura promedio en la estación Jorge Basadre</i>	59
Figura 19	<i>Curva normal ajustada a la mínima temperatura en la est. Jorge Basadre</i>	61
Figura 20	<i>Clasificación 1 SUPERPAVE para ligantes asfálticos de la EG-2013</i>	72
Figura 21	<i>Clasificación 2 SUPERPAVE para ligantes asfálticos de la EG-2013</i>	72
Figura 22	<i>Modelo de datos ráster trabajado en el mapa de clasificación climática.</i> ..	78
Figura 23	<i>División propuesta para optima zonificación del grado de desempeño.</i>	79
Figura 24	<i>Mapa de clasificación climática del departamento de Tacna</i>	81
Figura 25	<i>Ráster interpolado con los valores de PG encontrados</i>	88
Figura 26	<i>Mapa del Grado de desempeño del departamento de Tacna</i>	89
Figura 27	<i>Mapa General del Grado de desempeño del Perú</i>	91
Figura 28	<i>Datos del estudio de tráfico 1 en la av. Litoral en el distrito y provincia de Tacna</i>	92
Figura 29	<i>Datos del estudio de tráfico 2 en la av. Litoral en el distrito y provincia de Tacna</i>	93

RESUMEN

La presente investigación fue desarrollada con el objetivo de difundir la metodología SUPERPAVE para el diseño de pavimentos, elaborando el mapa de zonificación por Grado de Desempeño (PG) para la adecuada selección del ligante asfáltico para la región Tacna, tomando en consideración los parámetros climáticos que afectan directamente en el desempeño del pavimento. Por lo tanto, esta investigación contribuye a dar un primer paso en la aplicación de la metodología Superpave en nuestro país, dando una respuesta a la necesidad de considerar factores climáticos en los proyectos viales de nuestra región. Se empezó recopilando la data de las estaciones climáticas de la región Tacna proporcionadas por el SENAMHI y por el proyecto POWER de la NASA, seguidamente a partir de datos de temperatura máxima y mínima diarias durante un periodo continuo de 20 años se procedió a calcular los valores del Grado de desempeño, aplicando los modelos matemáticos del SHRP (Superior Highway Research Program) y LTPP (Long-Term Pavement Performance) con un factor de confiabilidad del 98%. Para finalmente a partir del mapa climático del Perú y con la ayuda del ArcGIS elaborar el mapa de Grado de desempeño de pavimentos para la región Tacna con factores estadísticos de confiabilidad, el cual será la base para implementar la metodología SUPERPAVE en los proyectos viales de nuestra región.

Palabras clave: Grado de Desempeño, SUPERPAVE, ligante asfáltico

ABSTRACT

The present research was developed with the objective of disseminating the SUPERPAVE methodology for the design of pavements, preparing the zoning map by Performance Grade (PG) for the appropriate selection of the asphalt binder for the Tacna region, taking into consideration the climatic parameters that directly affect the performance of the pavement. Therefore, this research contributes to taking a first step in the application of the Superpave methodology in our country, providing a response to the need to consider climatic factors in road projects in our region. It began by collecting data from the climate stations in the Tacna region provided by SENAMHI and the NASA POWER project, then based on daily maximum and minimum temperature data for a continuous period of 20 years, the values were calculated. of the Performance Grade, applying the mathematical models of the SHRP (Superior Highway Research Program) and LTPP (Long-Term Pavement Performance) with a reliability factor of 98%. Finally, from the climate map of Peru and with the help of ArcGIS, prepare the Pavement Performance Grade map for the Tacna region with statistical reliability factors, which will be the basis for implementing the SUPERPAVE methodology in road projects in our region.

Keywords: Performance Grade, SUPERPAVE, asphalt binder

INTRODUCCIÓN

El territorio peruano al encontrarse cerca de la línea ecuatorial se podría esperar que fuese de clima tropical, sin embargo, la cordillera de los Andes y la fría corriente marina le otorgan características geográficas diferentes y con variedad de climas, entre fríos, templados y cálidos. Tacna cuenta con una franja costera cálida, valles templados y montañas con temperaturas frías. Estas condiciones influyen de forma directa en los ligantes asfálticos, debido a que estos son susceptibles a la temperatura por el grado de viscosidad que presentan.

En las obras viales, la elección de los ligantes asfálticos está relacionada con considerables desembolsos de presupuestos, por tal motivo, es de suma importancia que se planifique, organice y se controle cada una de las fases que forman parte de un proyecto de infraestructura vial. En la etapa de diseño del pavimento, nos topamos la elección del ligante asfáltico a utilizar el cual debería estar en función al desempeño del pavimento según la zona climática que corresponda al proyecto.

En la actualidad en nuestro país se siguen utilizando en la elección del ligante asfáltico métodos volumétricos que se fundamentan en parámetros empíricos de penetración y viscosidad los cuales nos darán datos que se orientan a la estabilidad y consistencia, este es el caso de la metodología MARSHALL, que no toma en cuenta parámetros por desempeño del pavimento, por lo tanto, cabe las preguntas ¿Es correcto

seleccionar los asfaltos por penetración y viscosidad? ¿La metodología MARSHALL será la más adecuada? Para responder estas preguntas la metodología SUPERPAVE propone una nueva forma de caracterizar los ligantes asfálticos y los agregados minerales en base a las condiciones climáticas y de tránsito a las que estará sometido el pavimento, ya que con esta metodología se deberá analizar y establecer predicciones de desempeño de dicho pavimento y así lograr en la etapa de diseño resultados más acorde a la realidad.

Teniendo en cuenta lo anterior la presente investigación se encuentra estructurada de la siguiente manera:

En el CAPÍTULO I se describe el problema orientado hacia la región Tacna planteando los objetivos, hipótesis y variables como también las limitaciones de la investigación.

En el CAPÍTULO II se realiza el marco teórico haciendo revisión a los antecedentes nacionales e internacionales y las bases teóricas existentes.

En el CAPÍTULO III se hace referencia a la metodología donde se describe la técnica de muestreo y recolección de datos, instrumentos y flujo de trabajo.

En el CAPÍTULO IV se desarrolla la investigación realizando el procesamiento de la data recopilada y los cálculos de temperatura del aire y del pavimento como también, el grado de desempeño del pavimento

En el CAPITULO V se realiza el análisis de los resultados obtenidos y se realiza la zonificación de acuerdo a las condiciones climáticas del grado de desempeño del pavimento

En el CAPÍTULO VI se desarrollan las conclusiones finales a las que se llegaron con la investigación.

Por último, se hacen las recomendaciones correspondientes, se señalan las referencias bibliografías utilizadas, anexos y matriz de consistencia.

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1. TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN

Mapa De Grado De Desempeño Para Ligantes Asfálticos Según La Clasificación SUPERPAVE, Región Tacna - 2023

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las carreteras son las arterias que oxigenan los distintos puntos en un territorio para su desarrollo, estas constituyen una parte vital de la infraestructura de cualquier país, ya que simplifican el transporte de personas y mercancías. Estas sufren un desgaste constante debido a la exposición a factores como el clima, el tráfico y la falta de mantenimiento adecuado; experimentando, con el paso del tiempo, un deterioro natural que puede afectar su seguridad y eficiencia.

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2022a) en el Perú al año 2022 se cuenta con 30 209 km de vías pavimentadas, mientras que se cuenta con 143 402 km de vías sin pavimentadas. La región de Tacna, a su vez, de acuerdo al (MTC 2022b), indica que al 31 de julio del 2022 cuenta con 2 650 km en redes viales existentes de los cuales 840,2 km son pavimentados y 1809,8 no son pavimentados.

Se puede observar que las vías pavimentadas mencionadas no cuentan con un estado servicial óptimo post construcción, por el contrario, poseen diversos tipos de fallas

en la superficie asfáltica. La principal inquietud radica en los gastos excesivos asociados a su mantenimiento, lo que tiene un impacto significativo en naciones en vías de desarrollo, especialmente en América Latina y particularmente en el Perú.

La metodología de diseño de asfalto en caliente SUPERPAVE no está normada en su totalidad en el Perú, no obstante, esta sería la ideal para las condiciones climáticas del país. De acuerdo a Huamán Guerrero y Chang Albitres (2016) “El tipo de ligante asfáltico debe seleccionarse de acuerdo a la zona en donde se colocará la mezcla asfáltica para minimizar la influencia de la temperatura y su deformabilidad.” Esta metodología contempla la selección del ligante asfáltico en función a su Grado de desempeño y este en función a la temperatura del aire, la velocidad del tráfico y el peso de los vehículos, para asegurar la resistencia requerida frente a las fallas de la carpeta asfáltica por diferencias térmicas o fatiga.

El Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET, 2011, p. 3) describe que “El segmento de la cordillera de los Andes que atraviesa la región Tacna es denominado localmente Cordillera del Barroso. En esta zona se encuentran las elevaciones más altas pues comprenden conos volcánicos que alcanzan una altura máxima de 5,500 msnm.”

Tacna se encuentra en una zona en donde existe variación climática importante, por lo que esto afecta directamente en las estructuras in situ, debido a esto, se crea la

necesidad de generar una zonificación de acuerdo a las condiciones climáticas del Grado de desempeño del ligante asfáltico, según la metodología SUPERPAVE, de las carpetas asfálticas del pavimento flexible en la región de Tacna – Perú; esto para simplificar la elección adecuada del ligante asfáltico en función a las características zonales en los distritos y provincias conformantes de la región de Tacna.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1. Problema general

¿Cuál es la relación que existe entre la zonificación de acuerdo a las condiciones climáticas y el Grado de desempeño del ligante asfáltico, según la metodología SUPERPAVE, de las carpetas asfálticas del pavimento flexible en el departamento de Tacna – Perú?

1.3.2. Problema específico

- ¿Cuál es la relación que existe entre la zonificación de acuerdo a las condiciones climáticas altas y el Grado de desempeño del ligante asfáltico, según la metodología SUPERPAVE, de las carpetas asfálticas del pavimento flexible en el departamento de Tacna – Perú?
- ¿Cuál es la relación que existe entre la zonificación de acuerdo a las condiciones climáticas bajas y el Grado de desempeño del ligante asfáltico, según la metodología SUPERPAVE, de las carpetas asfálticas del pavimento flexible en el departamento de Tacna – Perú?

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La zonificación de acuerdo al Grado de desempeño del ligante asfáltico, según la metodología SUPERPAVE, de las carpetas asfálticas del pavimento flexible en la región de Tacna – Perú. determina los parámetros necesarios para la correcta elección del ligante asfáltico y así producir carpetas asfálticas duraderas en la región, es de gran importancia por varias razones:

- **Clima y condiciones locales:** El clima y las condiciones locales tienen un impacto significativo en el comportamiento de los materiales asfálticos. Tacna, al ser una región ubicada en el sur de Perú, presenta condiciones climáticas específicas que pueden afectar la durabilidad y resistencia del asfalto. El estudio del Grado de desempeño del ligante asfáltico en Tacna permite adaptar las mezclas asfálticas a las condiciones locales para garantizar su durabilidad y rendimiento.
- **Seguridad vial:** Un ligante asfáltico de calidad es esencial para garantizar la seguridad vial. En una región como Tacna, donde las carreteras pueden ser sometidas a condiciones climáticas extremas, es crucial que el asfalto mantenga sus propiedades de tracción y resistencia a la deformación para evitar accidentes de tráfico.
- **Preservación de la infraestructura:** Las vías de comunicación son una parte fundamental de la infraestructura de cualquier región. El estudio del Grado de desempeño del ligante asfáltico en Tacna ayuda a determinar cuáles son los

materiales y mezclas más adecuados para garantizar la durabilidad de las carreteras y reducir a largo plazo los costos de mantenimiento.

- **Eficiencia y economía:** Utilizar ligantes asfálticos que se adapten a las condiciones locales y ofrezcan un buen rendimiento a lo largo del tiempo puede resultar en ahorros significativos para el gobierno y los contribuyentes. Reducir la necesidad de reparaciones y repavimentación frecuente ahorra recursos financieros y reduce las interrupciones en las carreteras.
- **Sostenibilidad ambiental:** Un adecuado estudio del Grado de desempeño del ligante asfáltico también puede contribuir a la sostenibilidad ambiental. Al seleccionar mezclas de asfalto que duran más tiempo, se reduce la cantidad de material utilizado y la huella de carbono asociada a la construcción y mantenimiento de carreteras.
- **Cumplimiento de estándares y regulaciones:** El estudio del Grado de desempeño del ligante asfáltico en Tacna es esencial para cumplir con las normativas y estándares de calidad en la construcción de carreteras. Cumplir con estos estándares es fundamental para garantizar la seguridad de los usuarios de las vías y mantener la integridad de la infraestructura.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo general

Determinar la relación que existe entre la zonificación de acuerdo a las condiciones climáticas y el Grado de desempeño del ligante asfáltico, según la metodología SUPERPAVE, de las carpetas asfálticas del pavimento flexible en el departamento de Tacna – Perú.

1.5.2. Objetivo específico

- Determinar la relación que existe entre la zonificación de acuerdo a las condiciones climáticas altas y el Grado de desempeño del ligante asfáltico, según la metodología SUPERPAVE, de las carpetas asfálticas del pavimento flexible en el departamento de Tacna – Perú.
- Determinar la relación que existe entre la zonificación de acuerdo a las condiciones climáticas bajas y el Grado de desempeño del ligante asfáltico, según la metodología SUPERPAVE, de las carpetas asfálticas del pavimento flexible en el departamento de Tacna – Perú.

1.6. HIPÓTESIS

1.6.1. Hipótesis general

Existe una relación significativa entre la zonificación de acuerdo a las condiciones climáticas y el Grado de desempeño del ligante asfáltico, según la metodología

SUPERPAVE, de las carpetas asfálticas del pavimento flexible en el departamento de Tacna – Perú.

1.6.2. Hipótesis específica

- Existe una relación significativa entre la zonificación de acuerdo a las condiciones climáticas altas y el Grado de desempeño del ligante asfáltico, según la metodología SUPERPAVE, de las carpetas asfálticas del pavimento flexible en el departamento de Tacna – Perú.
- Existe una relación significativa entre la zonificación de acuerdo a las condiciones climáticas bajas y el Grado de desempeño del ligante asfáltico, según la metodología SUPERPAVE, de las carpetas asfálticas del pavimento flexible en el departamento de Tacna – Perú.

1.7. VARIABLES

1.7.1. Variable independiente

X = Zonificación de acuerdo a las condiciones climáticas:

- Condiciones climáticas altas
- Condiciones climáticas bajas

1.7.2. Variable dependiente

Y = Grado de desempeño.

1.8. LIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.8.1. De ámbito

- Esta investigación se limita al departamento de Tacna y sus provincias conformantes.
- A las ubicaciones de las estaciones meteorológicas disponibles en la región.

1.8.2. De recursos

- La cantidad de material bibliográfico, como tesis, papers o artículos, relacionados con la variable dependiente es escasa.
- La limitación se encuentra en la fase de investigación y formulación de propuestas, tratándose de una investigación descriptiva.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. MARCO HISTÓRICO

En los pavimentos el ligante asfáltico es el componente susceptible a los cambios de temperatura del ambiente, en tal sentido se hace necesario que en los ensayos que se usan para clasificarlos se evalúen las condiciones de temperatura y tráfico. Con esta necesidad surgió así un sistema que determinaría adecuadamente las características del material definiendo los requisitos mínimos del asfalto en función a sus propiedades reológicas y como también a las temperaturas a las que estarán expuestos durante su tiempo en servicio.

Con la finalidad de mejorar el desempeño y duración de las carreteras, en los Estados Unidos en 1987 fue establecido el Strategic Highway Research Program (SHRP), así se dio inicio al desarrollo de un nuevo sistema para caracterizar los materiales asfálticos, el producto final de este programa fue un nuevo sistema llamado SUPERPAVE (Superior Performing Asphalt Pavement). Este programa representó una nueva tecnología que podía especificar el cemento asfáltico y el agregado mineral; además de desarrollar diseños de mezclas asfálticas y analizarlas estableciendo predicciones del desempeño del pavimento. (Garnica et al., 2005)

En tal sentido, a partir de 1994 se difundió esta nueva metodología de diseño de mezclas asfálticas llamada SUPERPAVE (Superior Performance Asphalt Pavements) en

los Estados Unidos. Esta metodología desestima completamente los procedimientos empíricos utilizados hasta ese momento como el de Marshall o de Hveem, y se focaliza principalmente en las propiedades de los ligantes y las mezclas asfálticas. Lamentablemente, en el Perú aún se utilizan los métodos empíricos de mediados del siglo XX y una clasificación de ligantes asfálticos que ya se van dejando de lado por los países desarrollados e incluso por países en vías de desarrollo. (Witczak & Sotil, 2005)

En la actualidad, el método de diseño de mezclas asfálticas más usado es el de Marshall desarrollado en la primera mitad del siglo XX, que toma condiciones muy distintas a las del Perú. Las características climáticas y geográficas del Perú y debido a la presencia de la cordillera de los Andes, condicionan sustancialmente a que se realice una extrapolación al método empírico de Marshall. Por otro lado, la irresponsabilidad de los choferes que sobrepasan el límite legal máximo y la condición del parque automotor, hacen que sea muy difícil conocer las cargas a los que los pavimentos están realmente expuestos, por lo que el método de Marshall está siendo usado bajo condiciones totalmente diferentes para las que fue elaborado. (Witczak & Sotil, 2005)

2.2. ANTECEDENTES

2.2.1. Investigaciones nacionales

Alcalá y Delgado (2020) presenta su tesis: Mapa de grado de desempeño (PG) para ligantes asfálticos según clasificación SUPERPAVE, aplicado en las regiones Lima, Áncash e Ica; el cual tiene los siguientes objetivos:

- Desarrollar un Mapa de Grado de Desempeño (PG) con la base de datos del ANA aplicando los modelos matemáticos del SHRP y LTPP para ligantes asfálticos según clasificación SUPERPAVE en las regiones de Lima, Ancash e Ica.
- Determinar los componentes para calcular el Grado de Desempeño (PG) según clasificación SUPERPAVE en las regiones Lima, Ancash e Ica.
- Determinar las diferencias entre los valores de los modelos matemáticos existentes del Grado de Desempeño (PG) aplicados en las regiones Lima, Ancash e Ica.
- Realizar las correcciones al Grado de Desempeño (PG) en función al tráfico y la velocidad en carreteras específicas de las regiones Lima, Ancash e Ica.

Para sus objetivos, los autores lograron elaborar el Mapa de Grado de desempeño según la clasificación de la metodología SUPERPAVE para la elección del ligante asfáltico en las regiones de Lima, Ancash e Ica, para lo cual se tomó la data de un total de 37 estaciones extraídas del ANA distribuidas en toda el área de estudio de estudio, aplicando así los modelos matemáticos del SHRP y LTPP en todas sus versiones.

Aguilar (2019) realiza en su tesis: Análisis de desempeño por humedad de una mezcla asfáltica convencional con gradación Marshall y SUPERPAVE; el cual tiene los siguientes objetivos:

- Como objetivo general, establecer la influencia de la humedad en el desempeño mecánico de mezclas asfálticas elaboradas con asfalto 85/100. En ese sentido, se tienen los siguientes objetivos específicos:
- Estudiar el efecto de la humedad en las mezclas asfálticas a través del Ensayo de TSR (Resistencia Conservada en el Ensayo de Tracción Indirecta o Tensión Diametral) y Ensayo de Prueba de Hamburgo Wheel Track.
- Caracterización de distintas muestras en laboratorio que reproduzca las propiedades de la muestra de campo.
- Caracterización mecánica y físicamente la muestra de campo sometida a condiciones de humedad.
- Comparación de la respuesta de los requerimientos granulométricos Marshall y SUPERPAVE al desempeño por humedad.

El autor concluyó que al usar la gradación SUPERPAVE se obtienen mejores resultados de desempeño por contenido de asfalto y % de humedad, cuyo máximo tamaño nominal (TMN) es de 19 mm, resultando el contenido de asfalto para MAC-01 (MARSHALL) es 4,70% y para SUPERPAVE es 4,39%.

2.2.2. Investigaciones internacionales

Contreras (2007) en su tesis: Mapa de Recomendación de Uso de Ligantes Asfálticos Según Clasificación SUPERPAVE, Aplicado al Tramo entre Santiago y Los Ángeles; se plantea los siguientes objetivos:

- Efectuar la recopilación de información climatológica de estaciones meteorológicas de Chile situadas en la zona de estudio, aplicando posteriormente las ecuaciones SUPERPAVE para transformar los datos a temperatura de pavimento.
- Asignar un grado de desempeño PG (Performance Grade), que indicará el rango de temperaturas admisibles en el cual el pavimento presentaría propiedades físicas adecuadas, de acuerdo a condiciones de la zona.

Cabe mencionar que esta investigación se realizó para las características propias del sector en estudio, por lo que los investigadores no aconsejan extrapolar para el resto de Chile, debido a que las variables que influyen en la temperatura del pavimento, dependen de factores propios de cada región específica. De igual manera el autor menciona que es importante reconocer que existen limitaciones para la aplicación de las ecuaciones de SUPERPAVE en Chile ya que han sido elaboradas bajo condiciones de Estados Unidos y Canadá. Por lo que será necesario que en el futuro se deberá comprobar en campo.

El autor concluyó que la finalidad de su trabajo de investigación era realizar un mapa de recomendación para el uso de ligantes asfálticos mediante la normativa norteamericana SUPERPAVE, con la aplicación puntual a un tramo de Chile.

Duarte y Lizcano (2012) nos presentan en su tesis: Evaluación de las ventajas y desventajas de usar en Colombia las especificaciones técnicas de SUPERPAVE para diseño de mezcla asfáltica convencional; el cual tiene los siguientes objetivos:

- Evaluar las ventajas y desventajas de usar las especificaciones de diseño de mezclas asfálticas SUPERPAVE en Colombia, realizando los ensayos correspondientes para el diseño de las mezclas asfálticas para pavimentos flexibles propuestas por los métodos SUPERPAVE e INVIAS y de esta manera hacer comparaciones respectivas para determinar cuál método maneja los mejores parámetros en cuanto calidad.
- Realizar los ensayos correspondientes para caracterizar los materiales por la metodología de SUPERPAVE.
- Realizar los ensayos correspondientes para caracterizar los materiales por la metodología de INVIAS.
- Describir, analizar y evaluar las características de los componentes y los ensayos formulados por cada uno de los métodos.
- Comparar los resultados de los métodos de SUPERPAVE E INVIAS en función a la calidad.

El autor concluyó que con el método SUPERPAVE se obtuvieron porcentajes óptimos de asfaltos en las mezclas, pero menores a los porcentajes que se obtienen por el método empírico Marshall. Por lo que el mejor método depende del tipo de proyecto en

ejecución y lo que se espera del mismo, debido a que la metodología SUPERPAVE es más segura, pero a un mayor costo por los ensayos de laboratorio.

2.3. BASES TEÓRICAS

2.3.1. Materiales asfálticos

Los asfaltos son el resultado directo de la destilación del petróleo crudo, ya sea por medio natural o industrialmente. Los asfaltos del petróleo son los que más se emplean y se obtienen por destilación del crudo (por vapor o por aire). El sistema por vapor produce asfaltos de excelente calidad para pavimentación, y el sistema por aire resulta en productos de poca utilidad para esta área de la construcción. Los asfaltos de petróleo pueden presentar base asfáltica o base parafínica. Los de la base asfáltica son los que tienen mejores características para el empleo en pavimentación por sus propiedades ligantes y de resistencia a la meteorización. (Montejo, 2002)

El asfalto se usa en pavimentación como ligante entre las partículas de los agregados y como protección de la humedad. Este material tiene un comportamiento elástico lineal a temperaturas bajas y frecuencias altas de carga, no obstante, muestra propiedades viscosas y plásticas a temperaturas mayores, por ejemplo, cuando estas sobrepasan los 40°C. Es debido a este comportamiento, que las cargas repetidas del tránsito provocan una deformación permanente en la carpeta asfáltica, especialmente cuando está sometida a altas temperaturas (Huamán & Chang, 2016)

Como el ligante asfáltico es muy susceptible a las variaciones de temperatura, es necesario que los ensayos usados para clasificarlo indiquen las condiciones específicas de la temperatura. Por el contrario, las metodologías más utilizadas en nuestro país para la clasificación de los ligantes asfálticos se elaboran bajo condiciones arbitrarias, las cuales no reflejan necesariamente la realidad en el campo, además de no medir las propiedades básicas de comportamiento del producto. (Contreras, 2007)

2.3.2. Metodología SUPERPAVE

SUPERPAVE (Superior Performing Asphalt Pavements) es un sistema que para el diseño de pavimentos asfálticos se basa en el desempeño; con el objetivo de lograr pavimentos más durables frente a la acción de las temperaturas extremas y las altas demandas de tráfico. El método de diseño mantiene las propiedades volumétricas básicas usadas en el método de diseño Marshall, pero con un nuevo compactador y requisitos más definidos para los agregados basados en las cargas del tráfico. (Méndez, 2012)

Rivero (2018) nos menciona que este método evalúa los componentes de la mezcla de manera individual, es decir considera dos aspectos principalmente, una especificación según la clasificación del Grado de desempeño para el ligante asfáltico y un sistema de diseño para la mezcla de agregados pétreos. Además, también se especifica las propiedades volumétricas y principios que deben cumplir la combinación de agregados pétreos.

En la actualidad los criterios para caracterizar los asfaltos en nuestro país se basan en el modelo MARSHALL y es orientado solamente a la volumetría, es decir en función a la consistencia, para lo cual toma parámetros esencialmente de viscosidad y/o penetración. Por otro lado, SUPERPAVE nos indica como esta mezcla asfáltica se comportaría frente a los problemas de deterioro, principalmente:

- Deformación permanente
- Fisuración

Con las especificaciones SUPERPAVE, los ensayos a los ligantes asfálticos se realizan a distintas temperaturas, lo cual permite identificar la temperatura crítica en la que cada ensayo alcanzaría su valor límite especificado. De este modo se puede establecer un rango de temperaturas optimas en el cual un asfalto específico puede comportarse adecuadamente. (Lazo, 2012)

En síntesis, la metodología SUPERPAVE en principio busca mejorar el comportamiento de los asfaltos para evitar que se produzcan en los pavimentos las deformaciones permanentes, el agrietamiento por fatiga y el agrietamiento por bajas temperaturas, en tal sentido, es de suma importancia establecer las características físicas del ligante asfáltico como también simular en laboratorio el envejecimiento de este durante el mezclado, vida útil y compactación. Con el fin de conseguir este objetivo es que se realizan una serie de ensayos, los cuales se mencionan a continuación:

Tabla 1

Ensayos de la Metodología SUPERPAVE para ligante asfáltico.

Equipo	Objetivo del ensayo
DSR (Reómetro de corte dinámico)	Determina las propiedades visco-elásticas del ligante asfáltico a alta e intermedia temperatura.
RV (Viscosímetro rotacional de Brookfield)	Mide la rigidez del ligante asfáltico a alta temperatura.
BBR (Reómetro de viga de flexión)	Mide la rigidez a la fluencia a baja temperatura.
DTT (Ensayo de tracción directa)	Mide la deformación del ligante asfáltico a bajas temperaturas.
TFOT (Thin Film Oven Test)	Simula el envejecimiento durante la etapa constructiva.
PAV (Pressure Aging Vessel)	Simula el envejecimiento durante la vida útil.

Figura 1

Compactador giratorio SUPERPAVE modelo: LXY-150



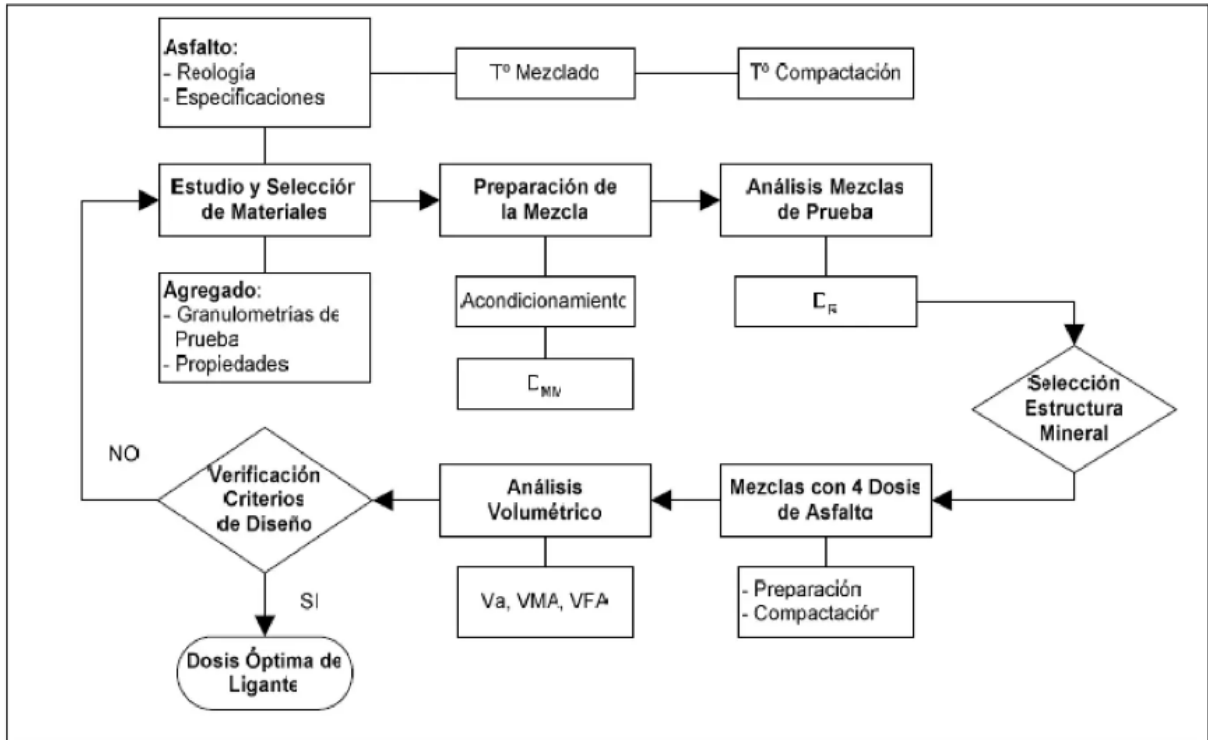
Nota: Extraído de Servir Real Instruments (Catálogo2024), www.equipos-de-ensayo.com

Escalante (2022) nos menciona que, para un proyecto vial, la metodología SUPERPAVE recomienda seguir los siguientes pasos para el diseño de mezcla:

- Selección del agregado
- Selección del ligante asfáltico en función a su Grado de desempeño
- Preparación de las muestras (compactador giratorio)
- Determinar los parámetros volumétricos (densidad y volumen de vacíos)
- Selección del contenido óptimo del ligante asfáltico
- Evaluación de la susceptibilidad a la humedad
- Ensayos de desempeño (toma en cuenta las variaciones de temperatura y condiciones de carga)

Figura 2

Algoritmo de diseño SUPERPAVE



Nota: Garcia (2016)

Con este procedimiento SUPERPAVE se orienta no solo a la volumetría, si no también a los ensayos por desempeño, a diferencia de la metodología MARSHALL que solo se orienta la volumetría. Es decir, nos predice como esta mezcla asfáltica se comportará frente a los problemas de deformación permanente y fisuración, los cuales son los principales problemas de los pavimentos en la actualidad.

2.3.3. Grado de desempeño (PG)

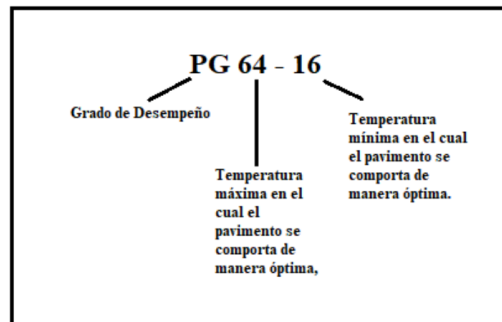
Este se refiere al intervalo de temperaturas (máxima a mínima), en el que un cemento asfáltico se desempeña satisfactoriamente. Este permite seleccionar correctamente el cemento asfáltico idóneo para un proyecto en función a la temperatura del asfalto dominante y de la magnitud de las cargas de tráfico durante su vida útil. Es por esto que en el diseño SUPERPAVE los ligantes asfálticos son seleccionados en función a las temperaturas del pavimento que pueden ser máximas, mínimas y promedio de la zona donde se vayan a ser utilizados estos. (Huamán, 2020)

El Grado de desempeño fija criterios de desempeño constantes, proporcionando las temperaturas extremas e intermedias a las cuales el ligante asfáltico podría alcanzar un desempeño adecuado en el pavimento. Se define la especificación según su grado de comportamiento PG XX-YY. (Rivero, 2018)

Como se puede observar en la Figura 3, como modo de ejemplo se asigna un PG 64 - 16 para la zona de un proyecto específico, esto garantiza un comportamiento idóneo del pavimento a una temperatura máxima de 64°C y una temperatura mínima de - 16°C.

Figura 3

Grado de desempeño de un ligante asfáltico



Nota: Huamán (2020)

Entonces, según Escalante (2022) para realizar los cálculos de los PG se necesitarán los datos siguientes:

- Condiciones de registro de temperaturas del ambiente
- Temperaturas máximas y mínimas del aire por un periodo mínimo de 20 años

Por lo tanto, se realiza un cálculo de los promedios de temperatura, para el caso de la temperatura máxima de los 7 días consecutivos más calientes de cada año, con este dato se calcula el promedio de esos 7 días más calientes y la desviación estándar σ .

Se debe aclarar que el PG para una temperatura máxima y mínima se hallan en intervalos de 6°, como por ejemplo PG 56, PG 62, por el contrario, la temperatura promedio se encuentra en intervalos de 3° como por ejemplo PG 29, PG 32, PG 35. En este sentido un mapa de Grado de Desempeño de cierta zona geográfica sería una herramienta muy útil cuya función principal sería seleccionar los ligantes asfálticos según

su PG, para ello la delimitación de zonas se realiza en función de las curvas de nivel y tipo de clima. Por esto es necesario la ayuda de softwares como ArcGIS para trabajar la edición y superposición de los datos de entrada como son las curvas de nivel y así como los tipos de clima. (Álcala & Delgado, 2020)

Tabla 2

Asfaltos definidos por el método SUPERPAVE

Clasificación a alta temperatura	Clasificación a baja temperatura
PG 46	-34, -40, -46
PG 52	-10, -16, -22, -28, -34, -40, -46
PG 58	-16, -22, -28, -34, -40
PG 64	-10, -16, -22, -28, -34, -40
PG 70	-10, -16, -22, -28, -34, -40
PG 76	-10, -16, -22, -28, -34
PG 82	-10, -16, -22, -28, -34

Nota: Escalante (2022) Fundamentos de la metodología SUPERPAVE. Lima, Perú.

En cuanto al marco normativo en el Perú, según las especificaciones técnicas generales del manual de carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones el cemento asfáltico deberá cumplir con las especificaciones de la subsección que corresponde a la clasificación de asfaltos en base a la penetración y además también a los equivalentes al PG (grado de comportamiento ASSHTO M-320).

Cabe señalar que SUPERPAVE nos dice que la clasificación por penetración ya no es una forma útil de clasificar los asfaltos, porque solo se basa en la consistencia y este parámetro no influye en el desempeño de la mezcla.

Figura 4

Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG, tabla 1 de AASHTO M320

	PG 46			PG 52						PG 58				PG 64							
	34	40	46	10	16	22	28	34	40	46	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	40
Temperatura de diseño máxima del pavimento promedio de 7 días, °C ^a	<46			<52						<58				<64							
Temperatura de diseño mínima del pavimento, °C ^a	>-34	>-40	>-46	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-46	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40
Asfalto original																					
Punto de inflamación, T 48, °C, mínimo	230																				
Viscosidad, T 316: ^b máximo 3 Pa s, temp de prueba, °C	135																				
Esfuerzo Cortante Dinámico, T 315: ^c G [*] /senS, ^d mínimo 1.00 kPa temp de prueba @ 10 rad/s, °C	46			52						58				64							
Película delgada en horno rotativo (T 240)																					
Cambio de masa, ^e máximo, %	1.00																				
Esfuerzo cortante dinámico, T 315: ^c G [*] /senS, ^d mínimo 2.20 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	46			52						58				64							
Residuo en cámara de presión (R 28)																					
Temperatura de curado PAV, °C ^f	90			90						100				100							
Esfuerzo cortante dinámico G [*] senS, ^d máximo 5000 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	10	7	4	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	31	28	25	22	19	16
Resistencia al deslizamiento, T 313 : ^g S, máximo 300 MPa valor-m, mínimo 0,300 temp de prueba @ 60 s, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30
Tensión Directa, T 314: ^g Def unitaria de la falla, mínimo 1,0% temp de prueba @ 1.0 mm/min, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30

Nota: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2022, p590)

Figura 5

Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG, tabla 2 de AASHTO M320

	PG 70						PG 76						PG 82					
	10	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	10	16	22	28	34		
Temperatura de diseño máxima del pavimento promedio de 7 días, °C ^a	<70						<76						<82					
Temperatura de diseño mínima del pavimento, °C ^a	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34		
Asfalto original																		
Punto de inflamación, T 48, °C, mínimo	230																	
Viscosidad, T 316: ^b máximo 3 Pa s, temp de prueba, °C	135																	
Esfuerzo Cortante Dinámico, T 315: ^c G ^e /senS, ^d mínimo 1.00 kPa temp de prueba @ 10 rad/s, °C	70						76						82					
Película delgada en horno rotativo (T 240)																		
Cambio de masa, ^e máximo, %	1.00																	
Esfuerzo cortante dinámico, T 315: ^c G ^e /senS, ^d mínimo 2.20 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	70						76						82					
Residuo en cámara de presión (R 28)																		
Temperatura de curado PAV, °C ^f	100 (110)						100(110)						100 (110)					
Esfuerzo cortante dinámico G ^e senS, ^d máximo 5000 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	34	31	28	25	22	19	37	34	31	28	25	40	37	34	31	28		
Resistencia al deslizamiento, T 313 : ^g S, máximo 300 MPa valor-m, mínimo 0,300 temp de prueba @ 60 s, °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24		
Tensión Directa, T 314: ^h Def unitaria de la falla, mínimo 1,0% temp de prueba @ 1.0 mm/min, °C	0		-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24		

Nota: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2022, p591)

2.3.4. Confiabilidad

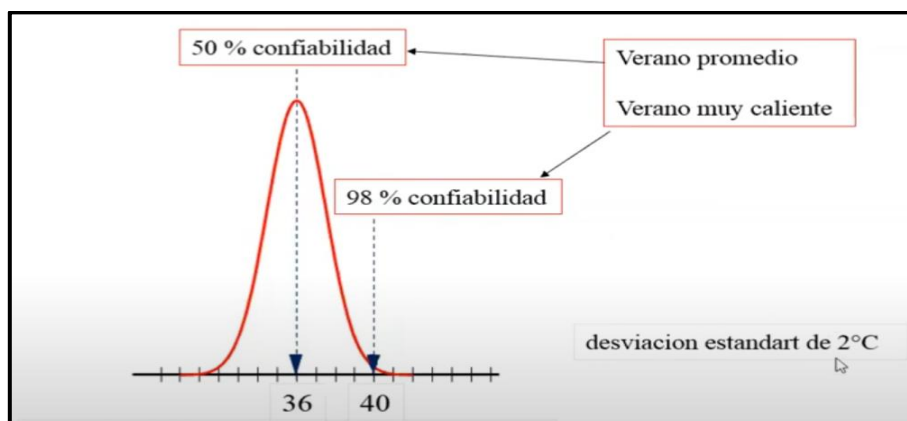
El Grado de desempeño se define en base a los registros de temperatura de las estaciones meteorológicas de una zona geográfica determinada por un periodo mínimo de 20 años, entonces la temperatura del pavimento estará en función de la temperatura del ambiente dependiendo del día más caluroso o el más frío, estando relacionadas las altas

temperaturas a la deformación permanente del pavimento y las bajas temperaturas a la fisuración. (Escalante, 2022)

En este sentido por recomendación del Strategic Highway Research Program (SHRP), se debe calcular las temperaturas máximas y temperaturas mínimas del aire con un nivel de confianza del 98% con una desviación estándar correspondiente a la data con la que se está trabajando, esto se hace con el objetivo de aproximar los cálculos a características de un verano promedio o un verano muy caliente. En la figura 6 se puede observar como ejemplo la campana de Gauss para una temperatura promedio de 36 °C con una desviación estándar de 2 °C donde 40°C sería la temperatura que representa a un verano muy caliente con una confiabilidad del 98%.

Figura 6

Campana de Gauss para temperaturas observadas del aire



Nota: Escalante (2022) Fundamentos de la metodología SUPERPAVE. Lima, Perú.

Entonces para obtener la temperatura máxima y mínima del aire con un nivel de confianza del 98% se puede calcular con las siguientes relaciones:

$$T_{max\ aire} = T_{media} + Z * \sigma$$

$$T_{min\ aire} = T_{media} - Z * \sigma$$

Donde:

Z : es el nivel de confianza (para SUPERPAVE 98%)

σ : es la desviación estándar

2.3.5. Modelos matemáticos

Las técnicas para procesar y analizar los datos se basan en la metodología del cálculo de Grado de desempeño mediante los modelos matemáticos SHRP y LTTP.

2.3.5.1. Modelo 1 SHRP

A través de mediciones en campo, se pudo obtener un modelo matemático para determinar la temperatura de la superficie del pavimento y después, un modelo para determinar la temperatura en función a la profundidad. Se consideran las condiciones que se evaluaron en modelos teóricos, en tal sentido se asume un coeficiente de absorción solar de 0,9, la transmisión de radiación en el aire de 0,81, la radiación atmosférica de 0,7 y velocidad del viento de 45 m/s. (Alonso et al.,2020). De este modo, la ecuación desarrollada por el SHRP para la temperatura máxima de diseño es:

$$T_{20mm} = (T_{aire} - 0.00618Lat^2 + 0.22890lat + 42.2)(0.9545) - 17.78 + Z\sigma$$

Donde:

$T_{20\text{mm}}$: Temperatura máxima de diseño a una profundidad de 20 mm.

T_{aire} : Temperatura máxima promedio en el periodo de siete días.

Lat : Latitud geográfica de la ubicación del proyecto en grados.

Para el caso de la temperatura mínima del diseño, se considera igual a la temperatura mínima media del aire correspondiente a la temperatura de la superficie. Por lo tanto, se propone la siguiente ecuación para calcular la temperatura mínima del diseño en función a la profundidad. (Alonso et al., 2020)

$$T_{pav} = T_{aire} + 0.051H - 0.000063H^2 - Z\sigma$$

Donde:

T_{pav} : Temperatura mínima del pavimento bajo la superficie (°C).

2.3.5.2. Modelo 2 SHRP

Tomando el mismo principio del modelo anterior, y en función a la fórmula para calcular la temperatura máxima, se desarrolló una nueva ecuación, esencialmente para datos de Canadá, entonces, la temperatura mínima sería calculada por la siguiente fórmula (Alonso et al., 2020)

$$T_{pav} = 0.859T_{aire} + 1.7^{\circ}C$$

2.3.5.3. Modelo 3 desarrollado por FHWA (LTPP)

El modelo fue desarrollado por la Federal Highway Administration, FHWA por sus siglas en inglés, por medio de un software llamado LTPP Bind SUPERPAVE, que considera los factores por medio de los cuales se puede realizar la elección de cierto asfalto, el área geográfica, la temperatura del pavimento y del aire. Esta investigación obtuvo como resultado, a través del programa SMP (Senior Management Program) nuevas herramientas para la modelación de las temperaturas máxima y mínima en el diseño (Alonso et al., 2020). En tal sentido, la fórmula establecida para calcular la temperatura máxima de diseño según LTPP es la siguiente:

$$T_{pav,h} = 54.32 + 0.78T_{aire} - 0.0025Lat^2 - 15.14Log_{10}(H + 25) + Z(9 + 0.61\sigma_{aire}^2)^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

Lat : Latitud geográfica de la ubicación del proyecto en grados

Z : Coeficiente de la tabla de distribución normal (Z = 0 para un 50 % de confianza, Z = 2,3264 para un 98 % de confianza)

Para la temperatura mínima del pavimento se usa la siguiente ecuación con el modelo LTPP

$$T_{pav,h} = -1.56 + 0.72T_{aire} - 0.004Lat^2 - 6.26Log_{10}(H + 25) + Z(4.4 + 0.52\sigma_{aire}^2)^{\frac{1}{2}}$$

2.3.6. Corrección del PG por velocidad y nivel de tráfico

Debido a que en el sistema SUPERPAVE el diseño y análisis de una mezcla son procedimientos con cierta complejidad, entonces la velocidad y el nivel de tráfico, así como el PG que se obtiene deberá corregirse, pues una menor velocidad y mayor nivel de tráfico generan mayores deformaciones en el pavimento. Para esto en la Tabla 3, se observa los grados que a corregirse a los grados de desempeño que se obtuvieron por los modelos matemáticos, donde el ESAL de diseño corresponde a la estimación de tráfico para un periodo de 20 años y cada Grado de desempeño corregido corresponde a 6 °C.

Tabla 3

Ajuste del Grado de desempeño velocidad y nivel de tráfico

Ejes equivalentes	$v < 20$ km/h	$20 \text{ km/h} \leq v \leq 70$ km/h	$v > 70$ km/h
$ESAL < 0,3$	-	-	-
$0,3 \leq ESAL < 3$	2	1	-
$3 \leq ESAL < 10$	2	1	-
$10 \leq ESAL < 30$	2	1	-
$ESAL \geq 30$	2	1	1

Nota: Escalante (2022) Fundamentos de la metodología SUERPAVE. Lima, Perú.

2.3.7. Características geográficas de la región Tacna:

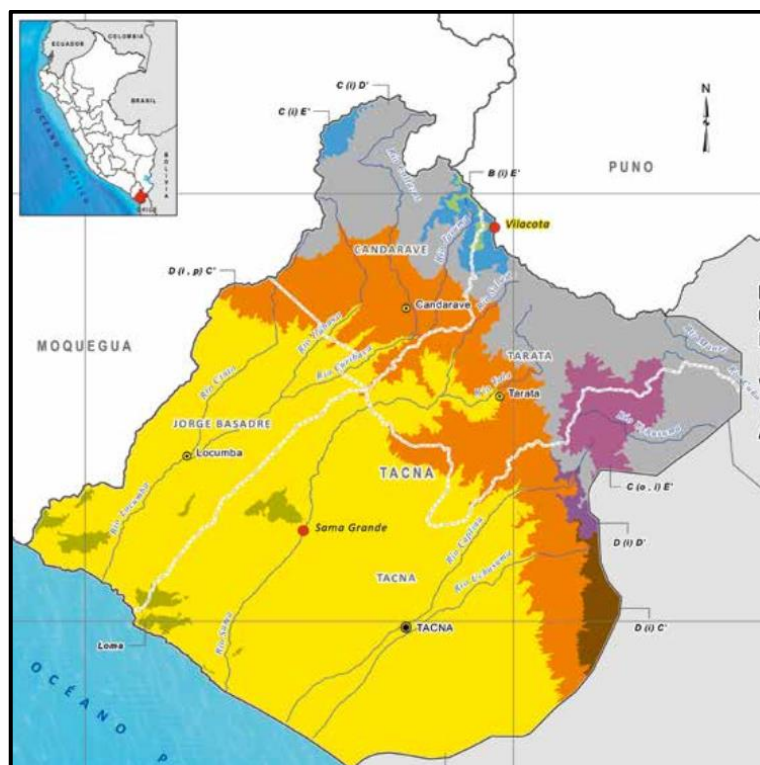
2.3.7.1. Superficie y ubicación geográfica

La región de Tacna está situada en la costa sur occidental del Perú (...). Los límites son por el noroeste con el departamento de Moquegua, por el norte con Puno, por

el este con el vecino país de Bolivia, por el sur con la República de Chile y por el oeste con el Océano Pacífico. En su territorio la sierra es atravesada por la Cordillera de los Andes con cerros y volcanes apagados, cubiertos de hielo permanente, en su costa los terrenos son arenosos interrumpidos por valles. La ciudad de Tacna está situada en el valle del Rio Caplina a 562 metros de altura sobre el nivel del mar y a 377 Km. del océano Pacífico. (Carpetas Georeferencial Región Tacna Perú, 2019)

Figura 7

Mapa climático de Tacna



Nota: SENAMHI

2.3.7.2. Clima

El clima de Tacna no es uniforme debido a que dos terceras partes de su territorio corresponden a la franja de costa y en la otra tercera parte se encuentra la cordillera; la costa tiene un clima seco, con variaciones de temperaturas de 12° a 30°C y la temperatura promedio es de 16,5 °C. La afluencia de cuatro ríos en la costa que condicionan la formación de 3 valles separados entre sí. Las temperaturas más frías se dan en los meses de julio y agosto y las máximas se corresponden en enero y febrero; en los meses de invierno se caracterizan por la presencia de ligeras neblinas. Los principales ríos (Locumba, Sama, Caplina y derivación Uchusuma) son de corto recorrido, ya que nacen del contrafuerte de la Cordillera Occidental de los Andes. La descarga total de los ríos es en promedio de 10,9 m³/s. (Carpeta Georeferencial Región Tacna Perú, 2019)

En la figura 7 se puede observar la geografía con las distintas regiones climáticas que tiene el departamento de Tacna.

2.3.7.3. Red vial regional

La red vial regional en la región está conformada por las carreteras que pertenecen a la red vial circunscrita al ámbito de un gobierno regional. Básicamente articula a la Red Vial Nacional con la Red Vial Vecinal o Rural. Estas redes están a cargo de los respectivos Gobiernos Regionales. En tal sentido, son parte de la Red Vial Departamental o Regional, las carreteras que cumplan cualesquiera de los siguientes criterios:

- Si interconectan la capital del departamento con las capitales de provincias o estas entre sí respectivamente.
- Si facilitan principalmente el transporte de personas y el intercambio comercial a nivel regional o departamental y que tengan influencia en el movimiento económico regional.
- Si interconectan capitales de distritos que pertenecen a más de una provincia o permiten la formación de circuitos con otras carreteras departamentales o nacionales.
- Si articulan a los puertos y/o aeropuertos de nivel regional.

Cabe mencionar que la red de carreteras de la región Tacna es insuficiente e inadecuada; la Panamericana es la única carretera que se encuentra asfaltada; la carretera Tacna-Tarata (69.7 km.) tiene asfaltado 65 Km.; la carretera Tacna-Tripartito esta asfaltada 41.0 km. hasta Palca, de un total de 186,40 Km. La falta de presupuesto es la limitante para mantener las vías óptimas para el tránsito adecuado, a esto se debe agregar los elevados costos de mantenimiento de la maquinaria y equipos, además de la presencia de fenómenos climáticos que afectan periódicamente las diferentes vías. (Plan de Desarrollo Regional Concertado TACNA, 2014)

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

En la presente investigación se describe con detalle la metodología utilizada para el cálculo del Grado de desempeño y la elaboración del Mapa del Grado de desempeño. El nivel de la investigación es de carácter cualitativo y cuantitativo, porque se obtendrá como resultados el Grado de desempeño de forma numérica. Por otro lado, este trabajo de investigación también es de carácter deductivo, ya que se basa en investigaciones a nivel nacional e internacional para definir la factibilidad de diseñar el mapa de Grado de desempeño de la región Tacna.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

La población de estudio que se tomo está compuesta por los datos climatológicos de las distintas estaciones meteorológicas del territorio peruano. Esta muestra está comprendida por los datos climatológicos recopilados de la región Tacna de los últimos 20 años.

3.3. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Las técnicas de recolección de datos se darán mediante la recopilación histórica de los datos climatológicos de la región Tacna de la base de datos proporcionados por las estaciones climatológicas del SENAMHI y el proyecto POWER DATA de la NASA. Para

la recopilación de antecedentes preliminares, se realizó la búsqueda, ordenamiento, análisis y validación de los datos existentes y toda la información necesaria que pueda ser de ayuda para cumplir con los objetivos de la investigación.

De acuerdo a los requerimientos de la metodología SUPERPAVE, se recolectó una data de 20 años para las temperaturas máximas y mínimas que proporcionan las estaciones meteorológicas. Con los datos de las temperaturas máximas y temperaturas mínimas de diseño obtenidos, se procede a escoger el Grado de desempeño para cada una de ellas, siguiendo el principio de que el límite superior debe ser necesariamente mayor a la temperatura de diseño y el límite inferior menor.

3.3.1. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) es un organismo del estado peruano especializado en brindar información sobre pronósticos del tiempo, como también dar asesoría y realizar estudios científicos en las áreas de hidrología, meteorología, agrometeorología y temas ambientales. Este organismo tiene como propósito generar información meteorológica, hidrológica y climática oportuna y de libre acceso. Con ese propósito mantiene en operación en la red nacional más de 900 Estaciones Meteorológicas e Hidrológicas de conformidad con las normas técnicas de la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

3.3.2. Proyecto POWER de la NASA

La NASA ofrece un sistema de predicción de recursos energéticos mundiales (POWER DATA) de libre acceso, en el cual se brinda mapas, aplicaciones y servicios de datos que definen las condiciones meteorológicas y la radiación solar, observando cómo estos recursos podrían cambiar con el tiempo. De la página oficial del proyecto POWER se pueden extraer distintas variables agroclimáticas; estos datos tienen una cobertura a nivel mundial que están disponibles desde 1981 hasta la actualidad.

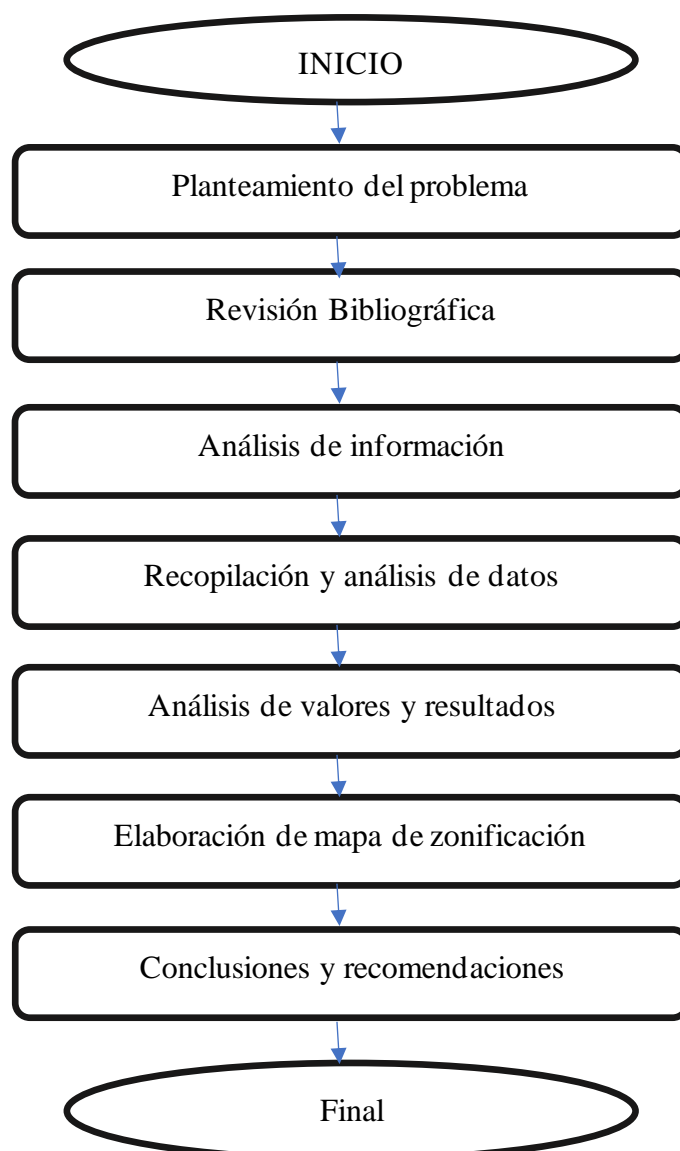
3.4. INSTRUMENTOS DE INGENIERÍA

- El programa ArcGIS, que nos permite administrar, analizar y distribuir información geográfica
- Para procesamiento de datos estadísticos se usará el software SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) el cual es uno de los programas más usados por su capacidad para trabajar con grandes bases de datos.
- El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú SENAMHI para la toma de datos
- El servicio de consulta proyecto POWER DATA de la NASA para la toma de datos
- También se usará el EXCEL, para realizar operaciones y procesamiento de datos.

3.5. FLUJO DE TRABAJO

Figura 8

Flujo de trabajo para desarrollar el proyecto de investigación



CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. DATOS CLIMÁTICOS

4.1.1. Características de los datos requeridos

La especificación SUPERPAVE para ligantes asfálticos define el Grado de desempeño en base a registros históricos de temperaturas del aire extremas de estaciones meteorológicas por un periodo mínimo de 20 años. Se ha recopilado los datos climáticos de las estaciones climáticas del SENAMHI y proyecto POWER de la NASA, de los cuales se han extraído las variables de temperatura máxima y temperatura mínima del aire a una escala diaria.

4.1.2. Estaciones climáticas de SENAMHI

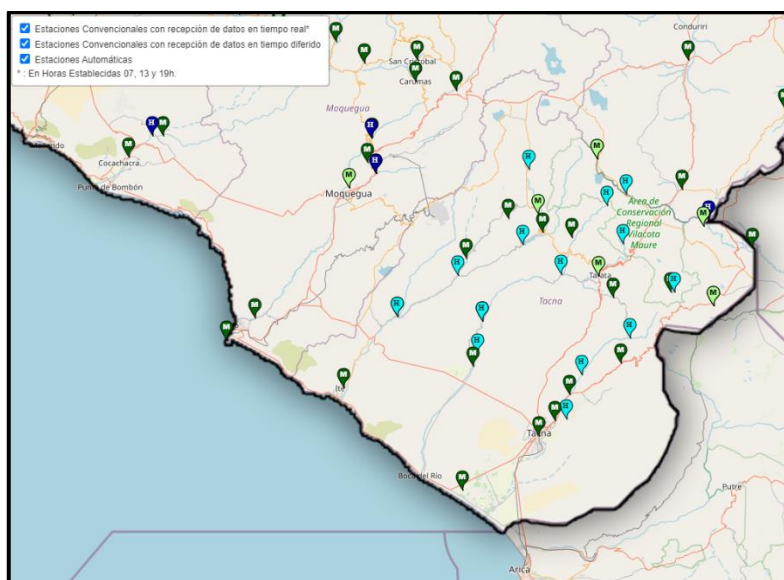
Con respecto a la cantidad de estaciones, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú indica: “Con el ánimo de difundir información confiable y de calidad, el SENAMHI opera, controla, organiza y mantiene la Red Nacional de más de 900 Estaciones Meteorológicas e Hidrológicas de conformidad con las normas técnicas de la Organización Meteorológica Mundial (OMM)” (SENAMHI, s. f.).

Mencionadas estaciones son de diferentes tipos, utilizando para esta investigación las ubicaciones y disponibilidad de datos de la Estación meteorológica automática (EMA) y Estación Hidrológica Automática (EHA) con sus variantes (automáticas y

convencionales), ubicándose estas en diferentes puntos del departamento de Tacna, como se indican en la Figura 9.

Figura 9

Ubicación de las estaciones en el departamento de Tacna



Nota: Extraído de SENAMHI (s.f.).

Tabla 4

Estaciones climáticas en la provincia de Candarave

Nombre	Tipo	Distrito	Altura [m s. n. m.]	Longitud	Latitud
Cairani	Meteorológica	Cairani	3386	-70,362723°	-17,281211°
Corachay II	Hidrológica	Cairani	4110	-70,288391°	-17,114349°
Candarave	Meteorológica	Candarave	3415	-70,255404°	-17,267732°
Laguna Aricota	Hidrológica	Curibaya	2770	-70,308494°	-17,370972°
Aricota	Meteorológica	Quilahuani	2850	-70,237361°	-17,329147°

Nota: extraído de SENAMHI (s.f.).

Tabla 5*Estaciones climáticas en la provincia Jorge Basadre*

Nombre	Tipo	Distrito	Altura [m s. n. m.]	Longitud	Latitud
Ilabaya	Meteorológica	Ilabaya	1425	-70,512774°	-17,417853°
Ticapampa	Hidrológica	Ilabaya	1093	-70,542562°	-17,476649°
Ite	Meteorológica	Ite	160	-70,951651°	-17,860072°
Locumba	Meteorológica	Locumba	620	-70,764305°	-17,611539°

Nota: extraído de SENAMHI (s.f.).**Tabla 6***Estaciones climáticas en la provincia y departamento de Tacna*

Nombre	Tipo	Distrito	Altura [m s. n. m.]	Longitud	Latitud
Calana	Meteorológica	Calana	785	-70,192974°	-17,974541°
Cerro Blanco	Hidrológica	Calana	890	-70,152321°	-17,968686°
Coruca	Hidrológica	Inclán	834	-70,454514°	-17,633131°
La Tranca	Hidrológica	Inclán	629	-70,471858°	-17,742928°
Sama Grande	Meteorológica	Inclán	529	-70,489592°	-17,787576°
La Yarada	Meteorológica	La Yarada - Los Palos	30	-70,525956°	-18,210613°
Calientes	Meteorológica	Pachía	1200	-70,142475°	-17,883967°
Caplina	Hidrológica	Pachía	3480	-69,925136°	-17,692005°
Challata	Hidrológica	Pachía	1540	-70,098992°	-17,815389°
Toquela	Meteorológica	Pachía	3446	-69,939981°	-17,644555°
Bocatoma El Ayro	Metereológica	Palca	4260	-69,626679°	-17,580217°
Palca	Meteorológica	Palca	3023	-69,958600°	-17,777921°
Paucarani	Meteorológica	Palca	4625	-69,780362°	-17,532896°
Jorge Basadre	Meteorológica	Tacna	560	-70,251534°	-18,026913°

Nota: extraído de SENAMHI (s.f.).

Tabla 7*Estaciones climáticas en la provincia de Tarata*

Nombre	Tipo	Distrito	Altura [m s. n. m.]	Longitud	Latitud
Puente Talapalca	Hidrológica	Chucatamani	2164	-70,172750°	-17,474869°
Talabaya	Meteorológica	Estique	3409	-69,986727°	-17,552477°
Ancoaque	Hidrológica	Susapaya	4390	-69,939098°	-17,199686°
Salida Tunel Kovire	Hidrológica	Susapaya	4360	-70,008536°	-17,237995°
Vilacota	Hidrológica	Susapaya	4400	-70,056522°	-17,119780°
Challapalca	Meteorológica	Tarata	4269	-69,803026°	-17,234221°
Chuapalca	Meteorológica	Tarata	4250	-69,661757°	-17,308775°
La Frontera	Meteorológica	Tarata	4067	-69,486312°	-17,382438°
Sitajara	Meteorológica	Tarata	3138	-70,134991°	-17,377147°
Susapaya	Meteorológica	Tarata	3468	-70,134733°	-17,347625°
Tarata	Metereológica	Tarata	3100	-70,036643°	-17,479279°
Represa Jarumas	Hidrológica	Ticaco	4516	-69,948509°	-17,369224°

Nota: extraído de SENAMHI (s.f.).**Tabla 8***Estaciones climáticas en el departamento de Moquegua y Puno*

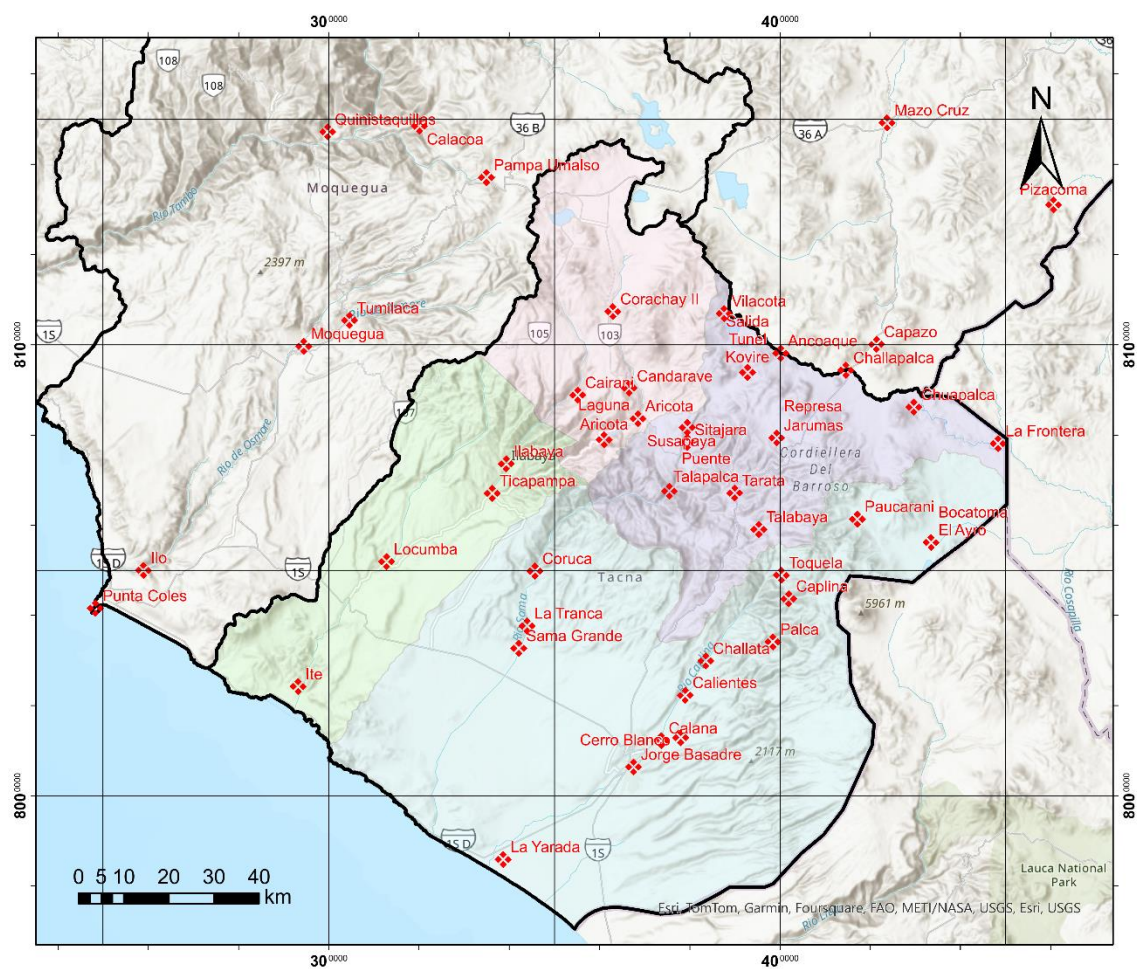
Nombre	Tipo	Distrito	Altura [m s. n. m.]	Longitud	Latitud
Pizacoma	Meteorológica	Pisacoma	3930	-69,369534°	-16,904314°
Capazo	Meteorológica	Capaso	4423	-69,739099°	-17,182695°
Mazo Cruz	Meteorológica	Santa Rosa	3980	-69,715464°	-16,738906°
Ilo	Meteorológica	El Algarrobal	60	-71,271886°	-17,623832°
Punta Coles	Meteorológica	Ilo	25	-71,373307°	-17,698618°
Pampa Umalso	Meteorológica	Carumas	4245	-70,549353°	-16,843824°
Quinistaquillas	Meteorológica	Carumas	1765	-70,878582°	-16,749733°
Moquegua	Meteorológica	Moquegua	1420	-70,932680°	-17,178743°
Tumilaca	Meteorológica	Samegua	1944	-70,836940°	-17,127697°
Calacoa	Meteorológica	San Cristobal	3421	-70,687676°	-16,739850°

Nota: extraído de SENAMHI (s.f.).

Se ha considerado las estaciones climáticas correspondientes al departamento de Tacna (Tablas 4, 5, 6 y 7) y algunas estaciones aledañas correspondientes a los departamentos de Puno y Moquegua (Tabla 8) para complementar los resultados, se indican las características principales en las tablas mencionadas.

Figura 10

Ubicación de estaciones climáticas utilizadas



4.1.3. Proyecto POWER de la NASA

Es un proyecto que proporciona variables climáticas en todo el mundo, del cual se han recopilado las variables correspondientes a las ubicaciones de las estaciones mencionadas en las Tablas 4, 5, 6, 7 y 8.

4.1.4. Escala y periodo de los datos

El SENAMHI (2016) indica en una de sus publicaciones lo siguiente:

(...) el SENAMHI pone a disposición de la ciudadanía información con control de calidad de datos diarios de temperatura máxima y mínima, así como precipitación; de 370 estaciones meteorológicas a nivel nacional seleccionadas por la calidad de su información.

(...) son fruto del esfuerzo de investigación conjunta desplegado por los profesionales de la Dirección de Meteorología y Evaluación Ambiental Atmosférica, y de la Dirección de Redes de Observación y Datos del SENAMHI, para sistematizar información recopilada entre 1964 y 2014.

Los datos históricos de acceso libre en la página web del SENAMHI son a escala diaria, pero varían en diferentes periodos los cuales están indicados en la columna Plataforma 1 de la tabla 9. Así mismo, se tiene disponibilidad de un segundo grupo de datos a partir del 2017 según el lapso indicado en la columna Plataforma 2 de la misma tabla siendo estos datos mensuales.

Tabla 9

Disponibilidad de datos de acceso libre en la página web del SENAMHI en el departamento de Tacna

Nombre	Naturaleza	Plataforma 1		Plataforma 2	
		Inicio	Fín	Inicio2	Fín2
Cairani	Convencional	N. P.	N. P.	01/08/2018	30/11/2023
Corachay II	Automática	N. P.	N. P.	01/02/2019	18/02/2024
Candarave	Convencional	N. P.	N. P.	01/01/2017	18/02/2024
Laguna Aricota	Automática	N. P.	N. P.	01/12/2018	18/02/2024
Aricota	Convencional	N. P.	N. P.	01/03/2018	30/11/2023
Ilabaya	Convencional	N. P.	N. P.	01/07/2017	18/02/2024
Ticapampa	Automática	N. P.	N. P.	01/09/2018	18/02/2024
Ite	Convencional	N. P.	N. P.	01/01/2017	18/02/2024
Locumba	Convencional	08/11/1963	26/08/2014	N. P.	N. P.
Calana	Convencional	01/11/1963	31/10/2015	01/01/2017	18/02/2024
Cerro Blanco	Automática	N. P.	N. P.	01/12/2018	18/02/2024
Coruca	Automática	N. P.	N. P.	01/02/2019	18/02/2024
La Tranca	Automática	N. P.	N. P.	01/01/2015	18/02/2024
Sama Grande	Convencional	01/01/1964	31/10/2015	01/01/2017	18/02/2024
La Yarada	Convencional	N. P.	N. P.	02/01/2017	18/02/2024
Calientes	Convencional	N. P.	N. P.	03/06/2017	18/02/2024
Caplina	Automática	N. P.	N. P.	01/02/2019	18/02/2024
Challata	Automática	N. P.	N. P.	01/02/2018	18/02/2024
Toquela	Convencional	01/11/1963	30/04/2014	N. P.	N. P.
Bocatoma El Ayro	Automática	N. P.	N. P.	01/11/2018	18/02/2024
Palca	Convencional	01/02/1965	31/07/2014	01/01/2017	18/02/2024
Paucarani	Convencional	01/05/1964	31/08/2014	01/10/2018	30/11/2023
Jorge Basadre	Convencional	01/01/1993	31/08/2014	01/01/2017	18/02/2024
Puente Talapalca	Automática	N. P.	N. P.	01/11/2018	18/02/2024
Talabaya	Convencional	01/12/1964	31/08/2014	01/05/2018	31/10/2023
Ancoaque	Automática	N. P.	N. P.	01/02/2019	18/02/2024
Salida Tunel Kovire	Automática	N. P.	N. P.	01/02/2019	18/02/2024
Vilacota	Convencional	N. P.	N. P.	01/02/2018	31/10/2023
Challapalca	Convencional	01/01/1964	31/03/2014	N. P.	N. P.
Chuapalca	Convencional	01/01/1964	30/04/2014	01/11/2018	30/11/2023
La Frontera	Convencional	N. P.	N. P.	01/09/2016	30/11/2023
Sitajara	Convencional	01/11/1963	31/03/2014	N. P.	N. P.
Susapaya	Convencional	01/01/1965	25/08/2014	01/06/2018	18/02/2024
Tarata	Automática	02/11/1963	26/08/2014	01/02/2019	18/02/2024
Represa Jarumas	Automática	N. P.	N. P.	01/02/2019	18/02/2024

Tabla 10

Disponibilidad de datos de acceso libre en la página web del SENAMHI en los departamentos de Moquegua y Puno

Nombre	Naturaleza	Plataforma 1		Plataforma 2	
		Inicio	Fín	Inicio2	Fín2
Pizacoma	Convencional	01/12/1963	30/06/2014	01/01/2017	18/02/2024
Capazo	Convencional	01/09/1963	30/06/2014	01/08/2017	31/12/2023
Mazo Cruz	Convencional	20/11/1963	31/10/2015	01/07/2017	18/02/2024
Ilo	Convencional	01/01/1965	31/07/2014	01/01/2017	18/02/2024
Punta Coles	Convencional	01/05/1954	31/07/2014	01/01/2017	18/02/2024
Pampa Umalso	Convencional	N. P.	N. P.	01/08/2017	18/02/2024
Quinistaquillas	Convencional	01/01/1964	31/07/2014	01/06/2018	18/02/2024
Moquegua	Convencional	01/04/1931	31/07/2014	01/01/2017	18/02/2024
Tumilaca	Convencional	N. P.	N. P.	01/11/2017	18/02/2024
Calacoa	Convencional	01/03/1964	31/07/2014	01/07/2017	18/02/2024

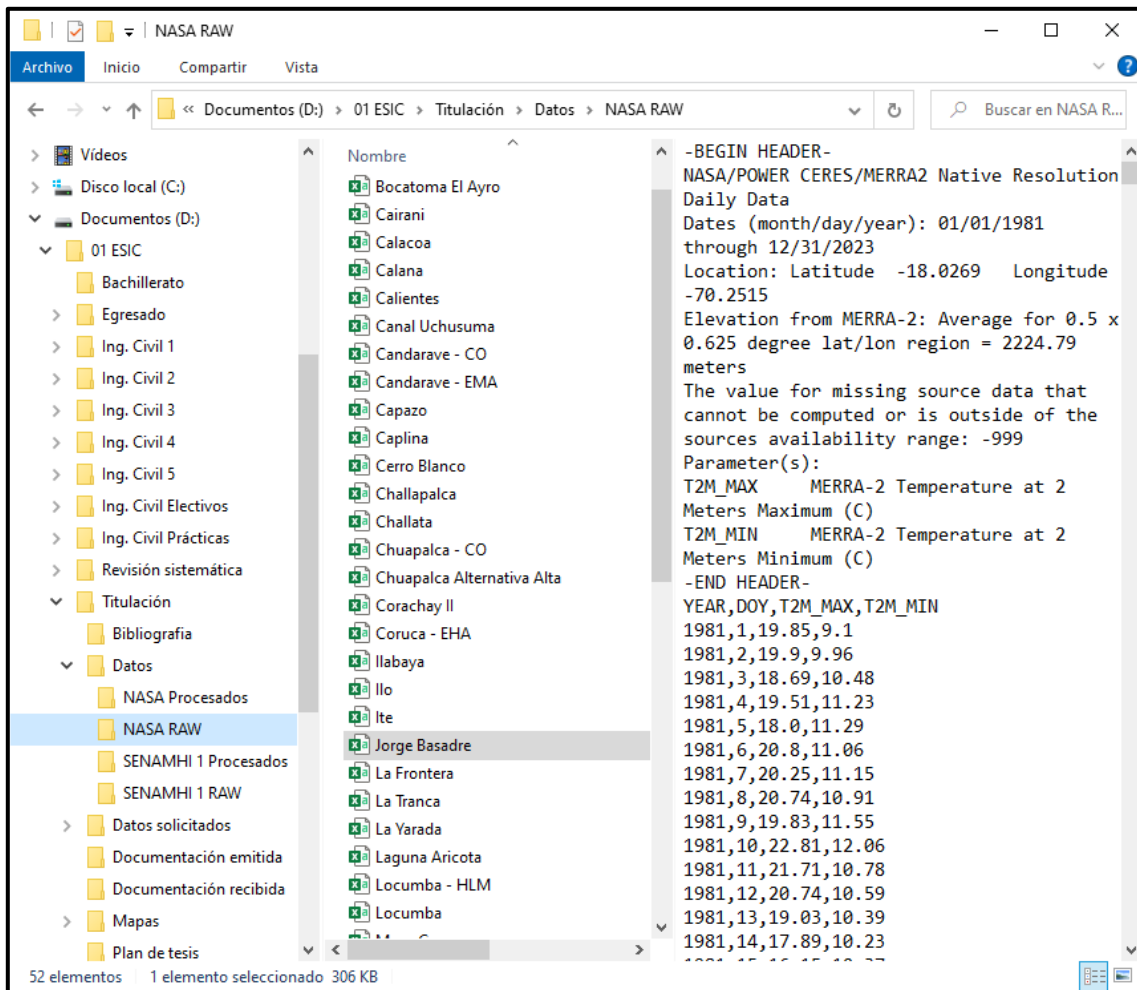
Los datos disponibles en la página web de la NASA son a escala diaria y están definidas desde el 1 de enero de 1981 hasta la actualidad.

4.1.5. Datos obtenidos

Los datos obtenidos de ambas fuentes fueron almacenados digitalmente, estando estos en formato CSV (comma-separated values), revisando el contenido a escala diaria y verificando las variables meteorológicas de máxima y mínima temperatura. Se obtiene de cada punto seleccionado (ubicación o estación climática) un archivo con los datos diarios históricos correspondientes, abarcando varios años. En tal sentido se tiene como referencia la figura 11.

Figura 11

Almacenamiento de data



4.1.6. Organización de datos

Los datos obtenidos fueron separados por año, se obtuvo los 7 días consecutivos más calurosos de cada año con sus correspondientes valores y su promedio; así como, el día más frío del año y su correspondiente valor.

Se tiene como referencia la figura 12 en donde se muestra los datos históricos de la estación Jorge Basadre en el distrito de Tacna separados por año, la figura indica que en el año 1994 los 7 días consecutivos más calurosos fueron del 27/01/1994 al 02/02/1994 siendo 29,03 °C el promedio, también muestra que el día más frío fue el 16/07/1994 con un registro de temperatura de 7,00 °C.

Figura 12

Datos por año de cada estación y temperaturas requeridas

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Fecha	Temperatura	Temperatura mínima		7 días consecutivos más calientes			Día mas frío	
2	01/01/1994	26,10 °C	14,30 °C		Fecha	Temperatura		Fecha	Temperatura
3	02/01/1994	26,50 °C	14,60 °C		27/01/1994	27,60 °C		16/07/1994	7,00 °C
4	03/01/1994	28,00 °C	14,40 °C		28/01/1994	29,50 °C			
5	04/01/1994	26,40 °C	14,40 °C		29/01/1994	28,20 °C			
6	05/01/1994	27,20 °C	16,50 °C		30/01/1994	28,60 °C			
7	06/01/1994	26,60 °C	15,80 °C		31/01/1994	29,30 °C			
8	07/01/1994	26,20 °C	14,60 °C		01/02/1994	30,00 °C			
9	08/01/1994	27,20 °C	15,20 °C		02/02/1994	30,00 °C			
10	09/01/1994	27,00 °C	15,40 °C		Promedio	29,03 °C			
11	10/01/1994	28,40 °C	16,20 °C						
12	11/01/1994	27,40 °C	15,40 °C						
13	12/01/1994	28,20 °C	15,80 °C						
14	13/01/1994	26,40 °C	15,40 °C						
15	14/01/1994	26,60 °C	17,00 °C						

Este procedimiento se realizó para cada estación y/o ubicación y por cada año de data. Se tiene los anexos desde el 1 hasta el 45 en donde se enlista las estaciones con temperaturas extremas por cada año.

4.2. CÁLCULO DE LA TEMPERATURA DEL AIRE

La Tabla 11 muestra el resumen del procedimiento detallado en el punto anterior, se tiene un cuadro con la máxima temperatura promedio y la mínima temperatura registrada por cada año en la estación Jorge Basadre en un periodo de 22 años (1993 – 2014), esta corresponde a la temperatura del aire.

Tabla 11

Temp. máximas y mínimas del aire por año en la estación Jorge Basadre

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1993	28,61 °C	8,00 °C
1994	29,03 °C	7,00 °C
1995	29,33 °C	5,00 °C
1996	28,74 °C	4,60 °C
1997	29,54 °C	10,90 °C
1998	30,26 °C	6,80 °C
1999	27,84 °C	7,00 °C
2000	28,37 °C	6,90 °C
2001	29,34 °C	7,40 °C
2002	28,89 °C	8,00 °C
2003	29,46 °C	5,80 °C
2004	29,30 °C	6,00 °C
2005	29,06 °C	7,50 °C
2006	30,13 °C	8,00 °C
2007	29,29 °C	5,60 °C
2008	29,47 °C	6,40 °C
2009	29,16 °C	7,50 °C
2010	29,51 °C	5,00 °C
2011	28,91 °C	7,50 °C
2012	30,04 °C	8,50 °C
2013	29,89 °C	7,00 °C
2014	29,66 °C	7,20 °C

4.2.1. Prueba de normalidad

Indicando la naturaleza de un conjunto de datos, Romero (2016) menciona que “En definitiva, las pruebas de bondad de ajuste permiten verificar qué tipo de distribución siguen nuestros datos y, por tanto, qué pruebas (paramétricas o no) podemos llevar a cabo en el contraste estadístico.” (p. 105).

El mismo autor indica acerca de la prueba de Kolmogórov-Smirnov: “Conocida como prueba K-S, es una prueba de significación estadística para verificar si los datos de la muestra proceden de una distribución normal. Se emplea para variables cuantitativas continuas y cuando el tamaño muestral es mayor de 50.” (p. 105).

También comenta acerca de la prueba de Shapiro-Wilks: “Cuando el tamaño muestral es igual o inferior a 50 la prueba de contraste de bondad de ajuste a una distribución normal es la prueba de Shapiro-Wilks.” (p. 112).

Para realizar la prueba de normalidad consideramos las siguientes hipótesis:

H₀: Los datos tienen una distribución normal. (hipótesis nula)

H_a: Los datos no tienen una distribución normal. (hipótesis alternativa)

Esto se hará para un nivel de confianza del 95 % y una significancia (alfa) o margen de error del 5 %. Si nuestro p-valor es menor o igual que el alfa ($p\text{-valor} \leq 0,05$), se rechaza la H₀ y se acepta la H_a (los datos no tendrían una distribución normal); si p-valor es mayor que alfa ($p\text{-valor} > 0,05$) entonces se acepta la H₀ y se rechaza la H_a.

Usando los datos de la columna Máxima temperatura promedio y la columna de Temperatura más fría de la Tabla 13 en el software SPSS obtenemos los resultados de la figura:

Figura 13

Prueba de normalidad en SPSS

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Máxima_temperatura_promedio	,105	22	,200 [*]	,976	22	,846
Temperatura_mas_fría	,139	22	,200 [*]	,934	22	,150

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.
a. Corrección de significación de Lilliefors

Considerando que la muestra es menor a 50 se tendrá en cuenta la prueba de Shapiro-Wilk en los cuales el valor de significancia es mayor a 0,05. Por lo tanto, los datos tienen una distribución normal.

Esta afirmación también se puede apreciar en las figuras 14 y 15 en donde las gráficas muestran una tendencia lineal, así mismo la figuras 16 y 15 muestran una distribución normal.

Figura 14

Gráfico normal de la Máxima temperatura promedio

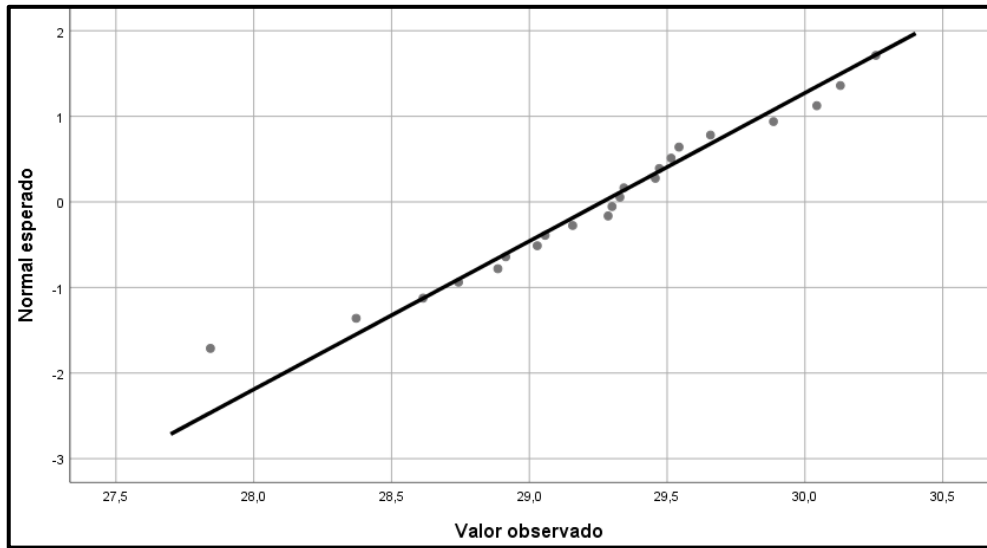


Figura 15

Gráfico normal de la Temperatura más fría

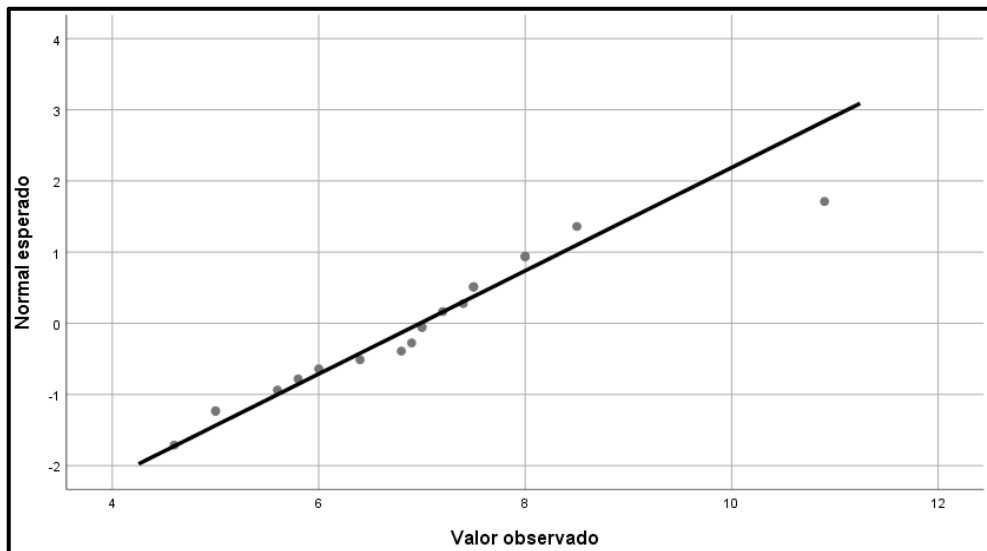


Figura 16

Histograma de la Máxima temperatura promedio

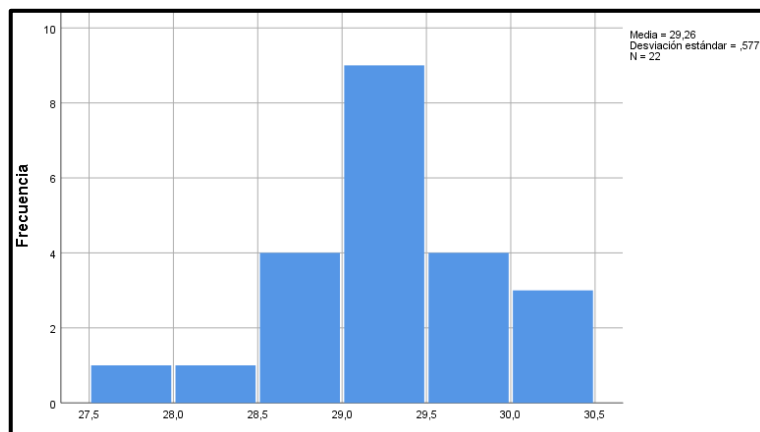
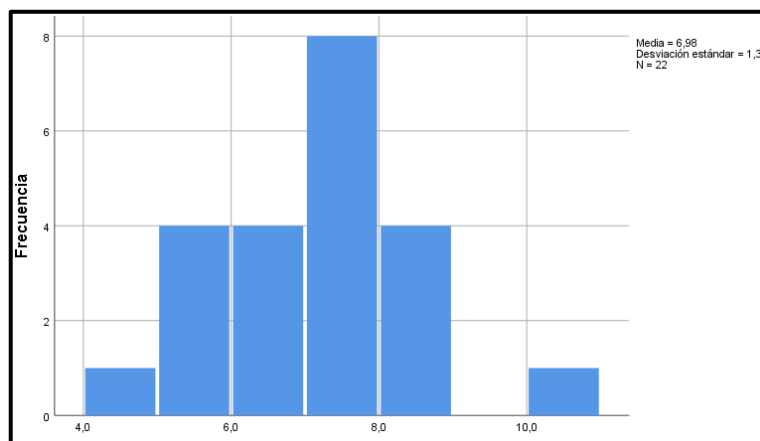


Figura 17

Histograma de la Temperatura más fría



4.2.2. Cálculo de promedio y desviación estándar

Para cada estación climática se obtiene el promedio de los datos y su correspondiente desviación estándar.

Tabla 12

Promedio y desviación estándar de la temperatura promedio de los 7 días consecutivos más calurosos anuales en las estaciones del departamento de Tacna

Nombre	Fuente	# de datos (años)	Promedio	Desviación estándar
Cairani	NASA	43	26,38 °C	0,60 °C
Corachay II	NASA	43	18,10 °C	0,88 °C
Candarave	NASA	43	21,26 °C	0,90 °C
Laguna Aricota	NASA	43	21,26 °C	0,90 °C
Aricota	NASA	43	21,26 °C	0,90 °C
Ilabaya	NASA	43	26,38 °C	0,60 °C
Ticapampa	NASA	43	26,38 °C	0,60 °C
Ite	NASA	43	24,81 °C	0,59 °C
Locumba	SENAMHI	50	30,86 °C	1,78 °C
Calana	SENAMHI	52	27,55 °C	0,64 °C
Cerro Blanco	NASA	43	24,70 °C	0,76 °C
Coruca	NASA	43	26,38 °C	0,60 °C
La Tranca	NASA	43	26,38 °C	0,60 °C
Sama Grande	SENAMHI	52	29,68 °C	0,77 °C
La Yarada	NASA	43	28,03 °C	0,76 °C
Calientes	NASA	43	24,70 °C	0,76 °C
Caplina	NASA	43	21,26 °C	0,90 °C
Challata	NASA	43	24,70 °C	0,76 °C
Toquela	NASA	43	21,26 °C	0,90 °C
Bocatoma El Ayro	NASA	43	19,91 °C	0,89 °C
Palca	SENAMHI	15	21,53 °C	0,75 °C
Paucarani	SENAMHI	9	17,46 °C	0,81 °C
Jorge Basadre	SENAMHI	22	29,26 °C	0,58 °C
Puente Talapalca	NASA	43	21,26 °C	0,90 °C
Talabaya	SENAMHI	8	19,75 °C	0,75 °C
Ancoaque	NASA	43	18,10 °C	0,88 °C
Salida Tunel Kovire	NASA	43	14,75 °C	1,29 °C
Vilacota	NASA	43	18,10 °C	0,88 °C
Challapalca	NASA	43	18,10 °C	0,88 °C
Chuapalca	SENAMHI	18	20,62 °C	0,58 °C
La Frontera	NASA	43	19,91 °C	0,89 °C
Sitajara	NASA	43	21,26 °C	0,90 °C
Susapaya	SENAMHI	15	19,97 °C	0,79 °C
Tarata	SENAMHI	51	22,09 °C	1,18 °C
Represa Jarumas	NASA	43	21,26 °C	0,90 °C

Tabla 13

Promedio y desviación estándar de la tem. promedio de los 7 días consecutivos más calurosos anuales en las estaciones aledañas al departamento de Tacna

Nombre	Fuente	# de datos (años)	Promedio	Desviación estándar
Pizacoma	SENAMHI	42	20,93 °C	0,92 °C
Capazo	SENAMHI	14	17,83 °C	1,03 °C
Mazo Cruz	SENAMHI	53	20,40 °C	1,34 °C
Ilo	SENAMHI	25	31,28 °C	1,99 °C
Punta Coles	SENAMHI	56	26,45 °C	0,97 °C
Pampa Umalso	NASA	43	19,12 °C	0,90 °C
Quinistaquillas	SENAMHI	13	32,57 °C	0,70 °C
Moquegua	SENAMHI	71	29,41 °C	1,18 °C
Tumilaca	NASA	43	19,12 °C	0,90 °C
Calacoa	NASA	43	20,30 °C	0,93 °C

Tabla 14

Promedio y desviación estándar de la temperatura mínima anual en las estaciones aledañas al departamento de Tacna.

Nombre	Fuente	# de datos (años)	Promedio	Desviación estándar
Pizacoma	SENAMHI	41	-13,14 °C	2,67 °C
Capazo	SENAMHI	14	-20,04 °C	5,96 °C
Mazo Cruz	SENAMHI	53	-21,55 °C	1,85 °C
Ilo	SENAMHI	26	8,56 °C	2,76 °C
Punta Coles	SENAMHI	56	11,98 °C	1,08 °C
Pampa Umalso	NASA	43	-3,95 °C	0,40 °C
Quinistaquillas	SENAMHI	13	7,23 °C	0,67 °C
Moquegua	SENAMHI	73	3,60 °C	1,74 °C
Tumilaca	NASA	43	-3,95 °C	0,40 °C
Calacoa	NASA	43	-5,38 °C	0,54 °C

Tabla 15

Promedio y desviación estándar de la temperatura mínima anual en las estaciones del departamento de Tacna

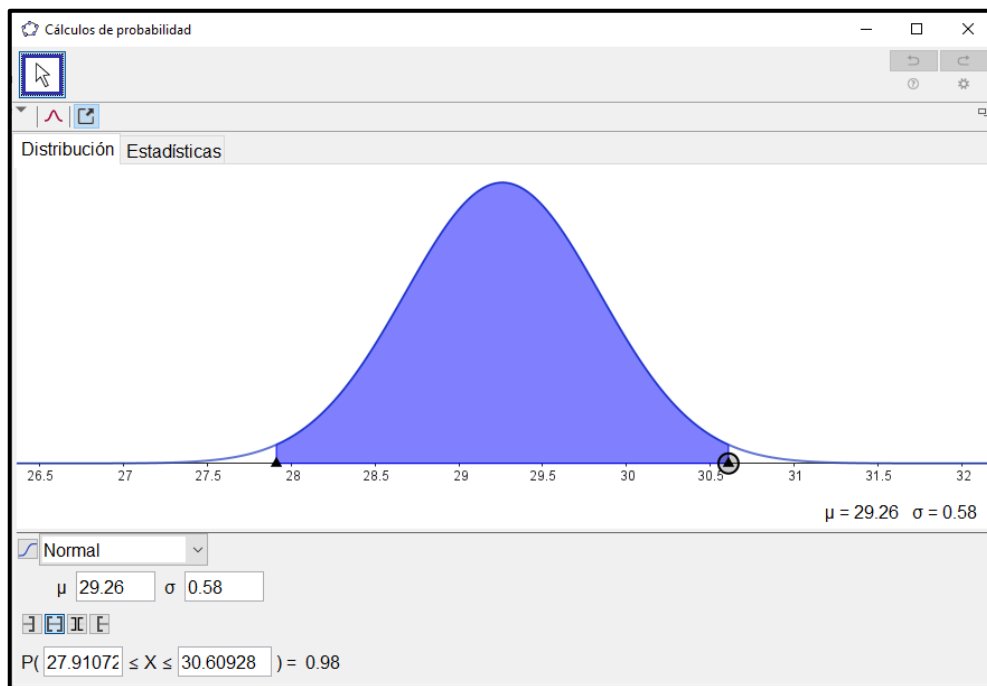
Nombre	Fuente	# de datos (años)	Promedio	Desviación estándar
Cairani	NASA	43	7,50 °C	0,68 °C
Corachay II	NASA	43	-7,04 °C	0,74 °C
Candarave	NASA	43	-1,77 °C	0,60 °C
Laguna Aricota	NASA	43	-1,77 °C	0,60 °C
Aricota	NASA	43	-1,77 °C	0,60 °C
Ilabaya	NASA	43	7,50 °C	0,68 °C
Ticapampa	NASA	43	7,50 °C	0,68 °C
Ite	NASA	43	14,20 °C	0,73 °C
Locumba	SENAMHI	48	4,15 °C	2,04 °C
Calana	SENAMHI	52	3,17 °C	1,27 °C
Cerro Blanco	NASA	43	5,05 °C	0,76 °C
Coruca	NASA	43	7,50 °C	0,68 °C
La Tranca	NASA	43	7,50 °C	0,68 °C
Sama Grande	SENAMHI	52	6,34 °C	1,73 °C
La Yarada	NASA	43	10,85 °C	0,81 °C
Calientes	NASA	43	5,05 °C	0,76 °C
Caplina	NASA	43	-1,77 °C	0,60 °C
Challata	NASA	43	5,05 °C	0,76 °C
Toquela	NASA	43	-1,77 °C	0,60 °C
Bocatoma El Ayro	NASA	43	-6,75 °C	0,45 °C
Palca	SENAMHI	15	2,01 °C	1,04 °C
Paucarani	SENAMHI	9	-18,38 °C	3,89 °C
Jorge Basadre	SENAMHI	22	6,98 °C	1,38 °C
Puente Talapalca	NASA	43	-1,77 °C	0,60 °C
Talabaya	SENAMHI	11	-3,97 °C	1,73 °C
Ancoaque	NASA	43	-7,04 °C	0,74 °C
Salida Tunel Kovire	NASA	43	-7,04 °C	0,74 °C
Vilacota	NASA	43	-7,04 °C	0,74 °C
Challapalca	NASA	43	-7,04 °C	0,74 °C
Chuapalca	SENAMHI	18	-22,76 °C	3,14 °C
La Frontera	NASA	43	-6,75 °C	0,45 °C
Sitajara	NASA	43	-1,77 °C	0,60 °C
Susapaya	SENAMHI	15	-3,60 °C	2,25 °C
Tarata	SENAMHI	51	-0,65 °C	2,49 °C
Represa Jarumas	NASA	43	-1,77 °C	0,60 °C

4.2.3. Temperatura máxima del aire con una confiabilidad del 98%

Teniendo en cuenta que los datos obtenidos en la tabla 11, correspondiente a la estación Jorge Basadre (y todas las estaciones y ubicaciones analizadas), se ajustan a una curva normal; entonces, utilizamos esta distribución para la máxima temperatura del aire en cada estación.

Figura 18

Curva normal ajustada a la máx. temperatura promedio en la estación Jorge Basadre



El diseño se realiza bajo condiciones críticas por lo que se considera un nivel de confianza del 98% para el cálculo de la máxima temperatura del aire. Considerando la estación Jorge Basadre el cual tiene una media (μ) de 29,26 °C y una desviación estándar

(σ) de 0,58 °C y mediante el uso del software GeoGebra hacemos los cálculos correspondientes obtenemos la figura 18.

La figura nos indica que la máxima temperatura del aire con un nivel de confianza del 98% es de 30,61 °C en la estación Jorge Basadre. Este resultado también lo obtenemos si usamos la función normal estándar y tipificamos la variable z .

4.2.4. Temperatura mínima del aire con una confiabilidad del 98%

Teniendo en cuenta que los datos obtenidos en la tabla 11, correspondiente a la estación Jorge Basadre (y todas las estaciones y ubicaciones analizadas), se ajustan a una curva normal; entonces, utilizamos esta distribución para la mínima temperatura en cada estación. El diseño se realiza bajo condiciones críticas por lo que se considera un nivel de confianza del 98 % para el cálculo de la mínima temperatura del aire.

Considerando la estación Jorge Basadre el cual tiene una media (μ) de 6,98 °C y una desviación estándar (σ) de 1,38 °C y mediante el uso del software GeoGebra hacemos los cálculos correspondientes obtenemos la figura 19. La figura nos indica que la mínima temperatura del aire con un nivel de confianza del 98% es de 3,77 °C en la estación Jorge Basadre. Este resultado también lo obtenemos si usamos la función normal estándar y tipificamos la variable z .

Se tiene la Tabla 16 la cual resume las máximas y mínimas temperaturas del aire con una confiabilidad del 98% en las estaciones en estudio del departamento de Tacna y en la Tabla 17 algunas estaciones de los departamentos de Moquegua y Puno.

Figura 19

Curva normal ajustada a la mínima temperatura en la est. Jorge Basadre

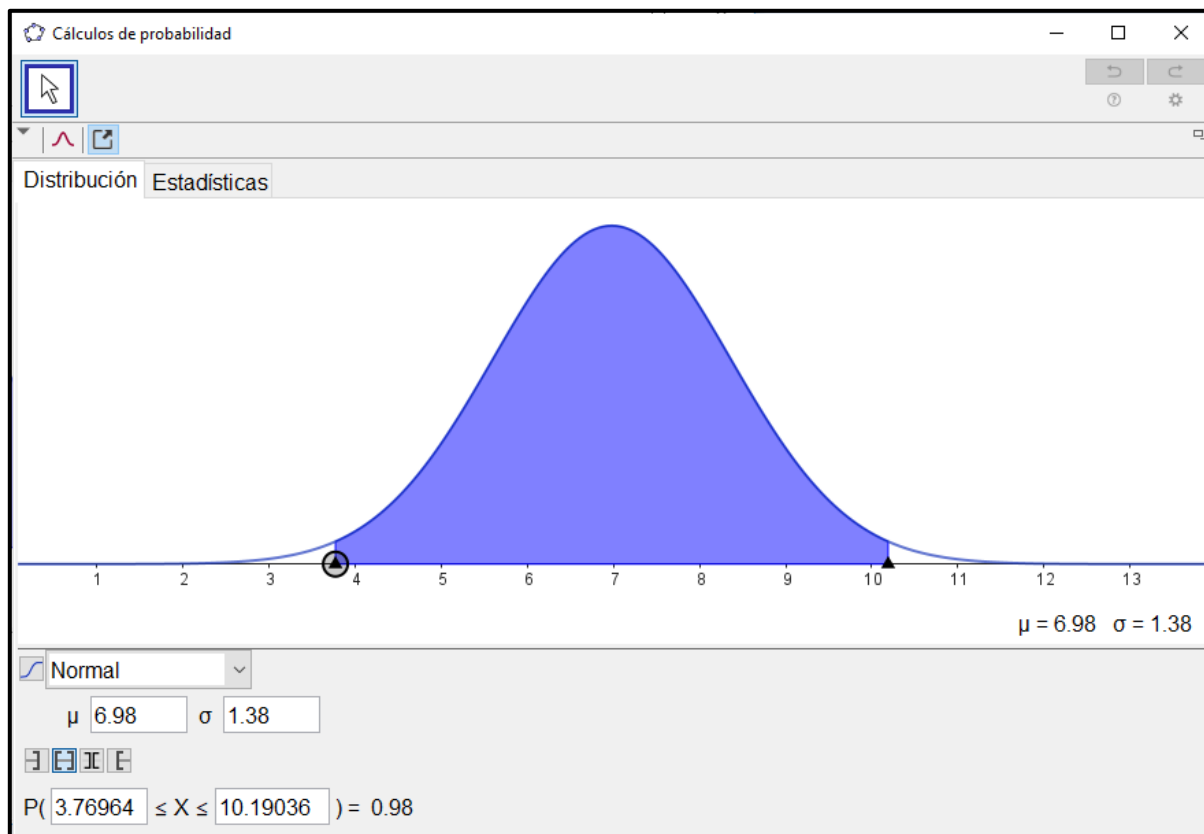


Tabla 16*Resumen de la máxima y mínima temp. del aire en est. del dep. de Tacna*

Nombre	Provincia	Distrito	T_MAXar	T_MINar
Cairani	Candarave	Cairani	27,77 °C	5,92 °C
Corachay II	Candarave	Cairani	20,14 °C	-8,77 °C
Candarave	Candarave	Candarave	23,36 °C	-3,16 °C
Laguna Aricota	Candarave	Curibaya	23,36 °C	-3,16 °C
Aricota	Candarave	Quilahuani	23,36 °C	-3,16 °C
Ilabaya	Jorge Basadre	Ilabaya	27,77 °C	5,92 °C
Ticapampa	Jorge Basadre	Ilabaya	27,77 °C	5,92 °C
Ite	Jorge Basadre	Ite	26,18 °C	12,51 °C
Locumba	Jorge Basadre	Locumba	35,01 °C	-0,58 °C
Calana	Tacna	Calana	29,04 °C	0,21 °C
Cerro Blanco	Tacna	Calana	26,48 °C	3,29 °C
Coruca	Tacna	Inclán	27,77 °C	5,92 °C
La Tranca	Tacna	Inclán	27,77 °C	5,92 °C
Sama Grande	Tacna	Inclán	31,48 °C	2,31 °C
La Yarada	Tacna	La Yarada - Los Palos	29,81 °C	8,95 °C
Calientes	Tacna	Pachía	26,48 °C	3,29 °C
Caplina	Tacna	Pachía	23,35 °C	-3,16 °C
Challata	Tacna	Pachía	26,48 °C	3,29 °C
Toquela	Tacna	Pachía	23,36 °C	-3,16 °C
Bocatoma El Ayro	Tacna	Palca	21,99 °C	-7,79 °C
Palca	Tacna	Palca	23,26 °C	-0,41 °C
Paucarani	Tacna	Palca	19,35 °C	-27,42 °C
Jorge Basadre	Tacna	Tacna	30,61 °C	3,77 °C
Puente Talapalca	Tarata	Chucatamani	23,36 °C	-3,16 °C
Talabaya	Tarata	Estique	21,50 °C	-8,01 °C
Ancoaque	Tarata	Susapaya	20,14 °C	-8,77 °C
Salida Tunel Kovire	Tarata	Susapaya	17,75 °C	-8,77 °C
Vilacota	Tarata	Susapaya	20,14 °C	-8,77 °C
Challapalca	Tarata	Tarata	20,14 °C	-8,77 °C
Chuapalca	Tarata	Tarata	21,98 °C	-30,05 °C
La Frontera	Tarata	Tarata	21,99 °C	-7,79 °C
Sitajara	Tarata	Tarata	23,36 °C	-3,16 °C
Susapaya	Tarata	Tarata	21,80 °C	-8,84 °C
Tarata	Tarata	Tarata	24,82 °C	-6,43 °C
Represa Jarumas	Tarata	Ticaco	23,36 °C	-3,16 °C

Tabla 17

Resumen de la máxima y mínima temperatura del aire en algunas estaciones de los departamentos de Moquegua y Puno

Nombre	Provincia	Distrito	T_MAXar	T_MINar
Pizacoma	Chucuito	Pisacoma	23,08 °C	-19,35 °C
Capazo	El Collao	Capaso	20,22 °C	-33,91 °C
Mazo Cruz	El Collao	Santa Rosa	23,52 °C	-25,85 °C
Ilo	Ilo	El Algarrobal	35,90 °C	2,15 °C
Punta Coles	Ilo	Ilo	28,71 °C	9,45 °C
Pampa Umalso	Mariscal Nieto	Carumas	21,21 °C	-4,88 °C
Quinistaquillas	Mariscal Nieto	Carumas	34,19 °C	5,68 °C
Moquegua	Mariscal Nieto	Moquegua	32,15 °C	-0,46 °C
Tumilaca	Mariscal Nieto	Samegua	21,21 °C	-4,88 °C
Calacoa	Mariscal Nieto	San Cristobal	22,46 °C	-6,62 °C

4.3. CÁLCULO DE LA TEMPERATURA DEL PAVIMENTO

Considerando los datos de la Tabla 16, se resume para la estación Jorge Basadre:

Tabla 18

Resumen de datos de la estación Jorge Basadre.

Descripción	Dato
Estación	Jorge Basadre
Ubicación latitud	-18,026913
Ubicación longitud	-70,251534
Confiabilidad al 98 % (z)	2,3264
Temperatura máxima del aire ($T_{MAXaire}$)	30,61 °C
Desviación estándar de la temperatura máxima del aire ($\sigma_{T_{MAXaire}}$)	0,58 °C

Temperatura mínima del aire ($T_{MINaire}$)	3,77 °C
Desviación estándar de la temperatura mínima del aire ($\sigma_{T_{MINaire}}$)	1,38 °C
Profundidad del pavimento (H)*	2 cm
Error estándar del modelo (δ_{modelo})*	2,1 °C

*Estos valores son constantes para todas las estaciones.

4.3.1. Temperatura máxima del pavimento

4.3.1.1. Modelo SHRP 1994

Este modelo indica que la temperatura máxima del pavimento se denota como:

$$T_{MAX} = 0,9545 \times (T_{MAXaire} - 0,00618 \times lat^2 + 0,2289 \times lat + 42,2) - 17,78$$

Considerando los datos de la estación, se tiene que:

$$T_{MAXaire} = 30,61$$

$$lat = -18,026913$$

Por lo tanto:

$$T_{MAX} = 45,86 \text{ °C}$$

4.3.1.2. Modelo LTPP 1996

Este modelo indica que la temperatura máxima del pavimento se denota como:

$$T_{MAX} = 54,32 + [0,77585 \times T_{MAXaire}] - [0,002468 \times lat^2] \\ - [15,137 \times \log_{10}(H + 25)]$$

Considerando los datos de la estación se tiene que:

$$T_{MAX} = 54,32 + [0,77585 \times (30,61)] - [0,002468 \times (-18,026913)^2] \\ - [15,137 \times \log_{10}(2 + 25)]$$

Por lo tanto:

$$T_{MAX} = 55,60 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Modelo LTPP 2004

Este modelo indica que la temperatura máxima del pavimento se denota como:

$$T_{MAX} = 32,7 + 0,837 \times T_{MAXaire} - 0,0029 \times lat^2 \\ + z \times \left((\sigma_{T_{MAXaire}})^2 + \delta_{modelo}^2 \right)^{0,5}$$

Considerando los datos de la estación se tiene que:

$$T_{MAX} = 32,7 + 0,837 \times (30,61) - 0,0029 \times (-18,026913)^2 \\ + 2,3264 \times ((0,58)^2 + (2,1)^2)^{0,5}$$

Por lo tanto:

$$T_{MAX} = 62,44 \text{ } ^\circ\text{C}$$

En resumen, se tiene la siguiente tabla:

Tabla 19

Resumen de temperaturas máximas del pavimento en la est. Jorge Basadre

Modelo matemático	Temperatura máxima del pavimento
Modelo SHRP 1994	45,86 °C
Modelo LTPP 1996	55,60 °C
Modelo LTPP 2004	62,44 °C

4.3.2. Temperatura mínima del pavimento

4.3.2.1. Modelo SHRP 1994

Este modelo indica que la temperatura mínima del pavimento se denota como:

$$T_{MIN} = T_{MINaire}$$

Considerando los datos de la estación se tiene que:

$$T_{MIN} = 3,77 \text{ °C}$$

4.3.2.2. Modelo C-SHRP

Este modelo indica que la temperatura mínima del pavimento se denota como:

$$T_{MIN} = 0,859 \times T_{MINaire} + 1,7$$

Considerando los datos de la estación se tiene que:

$$T_{MIN} = 0,859 \times (3,77 \text{ °C}) + 1,7$$

Por lo tanto:

$$T_{MIN} = 4,94 \text{ } ^\circ\text{C}$$

4.3.2.3. Modelo LTPP 1996

Este modelo indica que la temperatura mínima del pavimento se denota como:

$$T_{MIN} = -1,56 + [0,71819 \times T_{MINaire}] - [0,003966 \times lat^2] \\ + [6,264 \times \log_{10}(H + 25)]$$

Considerando los datos de la estación se tiene que:

$$T_{MIN} = -1,56 + [0,71819 \times (3,77)] - [0,003966 \times (-18,026913)^2] \\ + [6,264 \times \log_{10}(2 + 25)]$$

Por lo tanto:

$$T_{MIN} = 8,83 \text{ } ^\circ\text{C}$$

4.3.2.4. Modelo LTPP 1998 – 2000

Este modelo indica que la temperatura mínima del pavimento se denota como:

$$T_{MIN} = -1,56 + 0,72 \times T_{MINaire} - 0,004 \times lat^2 + 6,26 \times \log(H + 25) \\ - z \times \left(4,4 + 0,52 \times (\sigma_{T_{MINaire}})^2\right)^{1/2}$$

Considerando los datos de la estación se tiene que:

$$T_{MIN} = -1,56 + 0,72 \times 3,77 - 0,004 \times (-18,026913)^2$$

$$+ 6,26 \times \log(2 + 25)$$

$$- 2,3264 \times (4,4 + 0,52 \times (1,38)^2)^{1/2}$$

Por lo tanto:

$$T_{MIN} = 3,42 \text{ } ^\circ\text{C}$$

En resumen, se tiene la siguiente tabla:

Tabla 20

Resumen de temperaturas mínimas del pavimento en la est. Jorge Basadre

Modelo matemático	Temperatura mínima del pavimento
Modelo SHRP 1994	3,77 °C
Modelo C-SHRP	4,94 °C
Modelo LTPP 1996	8,83 °C
Modelo LTPP 1998 – 2000	3,42 °C

Tabla 21*Temperatura. máxima del pav. según modelos matemáticos en est. del dep. de Tacna*

Nombre	Provincia	Distrito	SHRP 1994	LTTP 1996	LTTP 2004
Cairani	Candarave	Cairani	43,47 °C	53,46 °C	60,15 °C
Corachay II	Candarave	Cairani	36,26 °C	47,56 °C	54,00 °C
Candarave	Candarave	Candarave	39,26 °C	50,04 °C	56,70 °C
Laguna Aricota	Candarave	Curibaya	39,22 °C	50,03 °C	56,69 °C
Aricota	Candarave	Quilahuani	39,24 °C	50,03 °C	56,70 °C
Ilabaya	Jorge Basadre	Ilabaya	43,41 °C	53,45 °C	60,14 °C
Ticapampa	Jorge Basadre	Ilabaya	43,38 °C	53,44 °C	60,13 °C
Ite	Jorge Basadre	Ite	41,71 °C	52,18 °C	58,76 °C
Locumba	Jorge Basadre	Locumba	50,24 °C	59,05 °C	67,51 °C
Calana	Tacna	Calana	44,38 °C	54,38 °C	61,17 °C
Cerro Blanco	Tacna	Calana	41,95 °C	52,40 °C	59,13 °C
Coruca	Tacna	Inclán	43,32 °C	53,43 °C	60,12 °C
La Tranca	Tacna	Inclán	43,27 °C	53,42 °C	60,11 °C
Sama Grande	Tacna	Inclán	46,79 °C	56,30 °C	63,34 °C
La Yarada	Tacna	La Yarada - Los Palos	45,02 °C	54,96 °C	61,89 °C
Calientes	Tacna	Pachía	41,98 °C	52,41 °C	59,14 °C
Caplina	Tacna	Pachía	39,08 °C	50,00 °C	56,64 °C
Challata	Tacna	Pachía	42,01 °C	52,42 °C	59,14 °C
Toquela	Tacna	Pachía	39,10 °C	50,01 °C	56,66 °C
Bocatoma El Ayro	Tacna	Palca	37,82 °C	48,95 °C	55,52 °C
Palca	Tacna	Palca	38,95 °C	49,92 °C	56,44 °C
Paucarani	Tacna	Palca	35,33 °C	46,91 °C	53,25 °C
Jorge Basadre	Tacna	Tacna	45,86 °C	55,60 °C	62,44 °C
Puente Talpalca	Tarata	Chucatamani	39,18 °C	50,02 °C	56,68 °C
Talabaya	Tarata	Estique	37,37 °C	48,57 °C	54,99 °C
Ancoaque	Tarata	Susapaya	36,22 °C	47,55 °C	53,99 °C
Salida Tunel Kovire	Tarata	Susapaya	33,92 °C	45,69 °C	52,43 °C
Vilacota	Tarata	Susapaya	36,25 °C	47,56 °C	54,00 °C
Challapalca	Tarata	Tarata	36,21 °C	47,55 °C	53,99 °C
Chuapalca	Tarata	Tarata	37,93 °C	48,97 °C	55,30 °C
La Frontera	Tarata	Tarata	37,91 °C	48,97 °C	55,54 °C
Sitajara	Tarata	Tarata	39,22 °C	50,03 °C	56,69 °C
Susapaya	Tarata	Tarata	37,74 °C	48,82 °C	55,29 °C
Tarata	Tarata	Tarata	40,57 °C	51,16 °C	58,19 °C
Represa Jarumas	Tarata	Ticaco	39,22 °C	50,03 °C	56,69 °C

Tabla 22

Temperatura máxima del pavimento según modelos matemáticos en algunas estaciones de los departamentos de Moquegua y Puno.

Nombre	Provincia	Distrito	SHRP 1994	LTTP 1996	LTTP 2004
Pizacoma	Chucuito	Pisacoma	39,15 °C	49,85 °C	56,52 °C
Capazo	El Collao	Capaso	36,30 °C	47,61 °C	54,20 °C
Mazo Cruz	El Collao	Santa Rosa	39,64 °C	50,21 °C	57,37 °C
Ilo	Ilo	El Algarrobal	51,09 °C	59,74 °C	68,57 °C
Punta Coles	Ilo	Ilo	44,19 °C	54,16 °C	61,21 °C
Pampa Umalso	Mariscal Nieto	Carumas	37,39 °C	48,41 °C	54,94 °C
Quinistaquillas	Mariscal Nieto	Carumas	49,82 °C	58,49 °C	65,66 °C
Moquegua	Mariscal Nieto	Moquegua	47,70 °C	56,87 °C	64,36 °C
Tumilaca	Mariscal Nieto	Samegua	37,27 °C	48,38 °C	54,91 °C
Calacoa	Mariscal Nieto	San Cristobal	38,63 °C	49,39 °C	56,03 °C

Tabla 23

Temperatura mínima del pavimento según modelos matemáticos en algunas estaciones de los departamentos de Moquegua y Puno

Nombre	Provincia	Distrito	SHRP 1994	C-SHRP	LTTP 1996	LTTP 1998 - 2000
Pizacoma	Chucuito	Pisacoma	-19,35 °C	-14,92 °C	-7,62 °C	-14,30 °C
Capazo	El Collao	Capaso	-33,91 °C	-27,43 °C	-18,12 °C	-29,33 °C
Mazo Cruz	El Collao	Santa Rosa	-25,85 °C	-20,50 °C	-12,27 °C	-18,11 °C
Ilo	Ilo	El Algarrobal	2,15 °C	3,54 °C	7,72 °C	0,98 °C
Punta Coles	Ilo	Ilo	9,45 °C	9,82 °C	12,95 °C	7,75 °C
Pampa Umalso	Mariscal Nieto	Carumas	-4,88 °C	-2,49 °C	2,77 °C	-2,18 °C
Quinistaquillas	Mariscal Nieto	Carumas	5,68 °C	6,58 °C	10,37 °C	5,36 °C
Moquegua	Mariscal Nieto	Moquegua	-0,46 °C	1,31 °C	5,91 °C	0,20 °C
Tumilaca	Mariscal Nieto	Samegua	-4,88 °C	-2,49 °C	2,74 °C	-2,21 °C
Calacoa	Mariscal Nieto	San Cristobal	-6,62 °C	-3,99 °C	1,54 °C	-3,45 °C

Tabla 24

Temperatura mínima del pavimento según modelos matemáticos en estaciones del departamento de Tacna.

Nombre	Provincia	Distrito	SHRP 19942	C-SHRP	LTTP 19963	LTTP 1998 - 2000
Cairani	Candarave	Cairani	5,92 °C	6,79 °C	10,47 °C	5,46 °C
Corachay II	Candarave	Cairani	-8,77 °C	-5,83 °C	-0,05 °C	-5,12 °C
Candarave	Candarave	Candarave	-3,16 °C	-1,02 °C	3,95 °C	-1,05 °C
Laguna Aricota	Candarave	Curibaya	-3,16 °C	-1,02 °C	3,94 °C	-1,07 °C
Aricota	Candarave	Quilahuani	-3,16 °C	-1,02 °C	3,94 °C	-1,06 °C
Ilabaya	Jorge Basadre	Ilabaya	5,92 °C	6,79 °C	10,46 °C	5,44 °C
Ticapampa	Jorge Basadre	Ilabaya	5,92 °C	6,79 °C	10,45 °C	5,43 °C
Ite	Jorge Basadre	Ite	12,51 °C	12,45 °C	15,13 °C	10,10 °C
Locumba	Jorge Basadre	Locumba	-0,58 °C	1,20 °C	5,76 °C	-0,22 °C
Calana	Tacna	Calana	0,21 °C	1,88 °C	6,27 °C	0,93 °C
Cerro Blanco	Tacna	Calana	3,29 °C	4,53 °C	8,49 °C	3,44 °C
Coruca	Tacna	Inclán	5,92 °C	6,79 °C	10,43 °C	5,41 °C
La Tranca	Tacna	Inclán	5,92 °C	6,79 °C	10,41 °C	5,39 °C
Sama Grande	Tacna	Inclán	2,31 °C	3,69 °C	7,81 °C	2,12 °C
La Yarada	Tacna	La Yarada - Los Palos	8,95 °C	9,39 °C	12,52 °C	7,45 °C
Calientes	Tacna	Pachía	3,29 °C	4,53 °C	8,50 °C	3,45 °C
Caplina	Tacna	Pachía	-3,16 °C	-1,01 °C	3,90 °C	-1,09 °C
Challata	Tacna	Pachía	3,29 °C	4,53 °C	8,51 °C	3,46 °C
Toquela	Tacna	Pachía	-3,16 °C	-1,02 °C	3,90 °C	-1,10 °C
Bocatoma El Ayro	Tacna	Palca	-7,79 °C	-4,99 °C	0,59 °C	-4,38 °C
Palca	Tacna	Palca	-0,41 °C	1,35 °C	5,86 °C	0,66 °C
Paucarani	Tacna	Palca	-27,42 °C	-21,85 °C	-13,51 °C	-21,71 °C
Jorge Basadre	Tacna	Tacna	3,77 °C	4,94 °C	8,83 °C	3,42 °C
Puente Talapalca	Tarata	Chucatamani	-3,16 °C	-1,02 °C	3,92 °C	-1,08 °C
Talabaya	Tarata	Estique	-8,01 °C	-5,18 °C	0,43 °C	-5,28 °C
Ancoaque	Tarata	Susapaya	-8,77 °C	-5,83 °C	-0,06 °C	-5,13 °C
Salida Tunel Kovire	Tarata	Susapaya	-8,77 °C	-5,83 °C	-0,07 °C	-5,14 °C
Vilacota	Tarata	Susapaya	-8,77 °C	-5,83 °C	-0,05 °C	-5,12 °C
Challapalca	Tarata	Tarata	-8,77 °C	-5,83 °C	-0,07 °C	-5,14 °C
Chuapalca	Tarata	Tarata	-30,05 °C	-24,11 °C	-15,36 °C	-22,61 °C
La Frontera	Tarata	Tarata	-7,79 °C	-4,99 °C	0,61 °C	-4,35 °C
Sitajara	Tarata	Tarata	-3,16 °C	-1,02 °C	3,94 °C	-1,07 °C
Susapaya	Tarata	Tarata	-8,84 °C	-5,90 °C	-0,14 °C	-6,34 °C
Tarata	Tarata	Tarata	-6,43 °C	-3,82 °C	1,58 °C	-4,87 °C
Represa Jarumas	Tarata	Ticaco	-3,16 °C	-1,02 °C	3,94 °C	-1,07 °C

4.4. CÁLCULO DEL GRADO DE DESEMPEÑO

El manual de carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, indica lo siguiente en referencia al grado de desempeño:

Figura 20

Clasificación 1 SUPERPAVE para ligantes asfálticos de la EG-2013



Tabla 423-13

Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG según Tabla 1 de AASHTO M320

	PG 46			PG 52						PG 58				PG 64							
	34	40	46	10	16	22	28	34	40	46	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	40
Temperatura de diseño máxima del pavimento promedio de 7 días, °C*	<46			<52						<58				<64							
Temperatura de diseño mínima del pavimento, °C*	>-34	>-40	>-46	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-46	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40

Nota: Ministerio de transportes y comunicaciones (2013).

Figura 21

Clasificación 2 SUPERPAVE para ligantes asfálticos de la EG-2013



Tabla 423-13 (continuación)

Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG Tabla 1 de AASHTO M320

	PG 70					PG 76				PG 82						
	10	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	10	16	22	28	34
Temperatura de diseño máxima del pavimento promedio de 7 días, °C*	<70					<76				<82						
Temperatura de diseño mínima del pavimento, °C*	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34

Nota: Ministerio de transportes y comunicaciones (2013).

La temperatura máxima del pavimento indicada por la estación Jorge Basadre es 62,44 °C, de acuerdo a la tabla referida se debería trabajar con 64 °C. Asimismo, la temperatura mínima del pavimento indicada por la estación Jorge Basadre es 3,42 °C, de

acuerdo a la tabla referida se debería trabajar con $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Es decir, el Grado de desempeño del ligante asfáltico en la estación Jorge Basadre es PG 64-10.

Teniendo en cuenta las consideraciones indicadas se tiene la Tabla **25** y **26** en donde se muestra el Grado de desempeño en cada estación climática revisada.

Tabla 25*Grado de desempeño en las estaciones del departamento de Tacna.*

Nombre	Provincia	Distrito	Grado de desempeño
Cairani	Candarave	Cairani	PG 64 - 10
Corachay II	Candarave	Cairani	PG 58 - 16
Candarave	Candarave	Candarave	PG 58 - 16
Laguna Aricota	Candarave	Curibaya	PG 58 - 16
Aricota	Candarave	Quilahuani	PG 58 - 16
Ilabaya	Jorge Basadre	Ilabaya	PG 64 - 10
Ticapampa	Jorge Basadre	Ilabaya	PG 64 - 10
Ite	Jorge Basadre	Ite	PG 64 - 10
Locumba	Jorge Basadre	Locumba	PG 70 - 10
Calana	Tacna	Calana	PG 64 - 10
Cerro Blanco	Tacna	Calana	PG 64 - 10
Coruca	Tacna	Inclán	PG 64 - 10
La Tranca	Tacna	Inclán	PG 64 - 10
Sama Grande	Tacna	Inclán	PG 64 - 10
La Yarada	Tacna	La Yarada - Los Palos	PG 64 - 10
Calientes	Tacna	Pachía	PG 64 - 10
Caplina	Tacna	Pachía	PG 58 - 16
Challata	Tacna	Pachía	PG 64 - 10
Toquela	Tacna	Pachía	PG 58 - 16
Bocatoma El Ayro	Tacna	Palca	PG 58 - 16
Palca	Tacna	Palca	PG 58 - 16
Paucarani	Tacna	Palca	PG 58 - 22
Jorge Basadre	Tacna	Tacna	PG 64 - 10
Puente Talapalca	Tarata	Chucatamani	PG 58 - 16
Talabaya	Tarata	Estique	PG 58 - 16
Ancoaque	Tarata	Susapaya	PG 58 - 16
Salida Tunel Kovire	Tarata	Susapaya	PG 58 - 16
Vilacota	Tarata	Susapaya	PG 58 - 16
Challapalca	Tarata	Tarata	PG 58 - 16
Chuapalca	Tarata	Tarata	PG 58 - 28
La Frontera	Tarata	Tarata	PG 58 - 16
Sitajara	Tarata	Tarata	PG 58 - 16
Susapaya	Tarata	Tarata	PG 58 - 16
Tarata	Tarata	Tarata	PG 64 - 10
Represa Jarumas	Tarata	Ticaco	PG 58 - 16

Tabla 26*PG en las estaciones de los departamentos de Moquegua y Puno*

Nombre	Provincia	Distrito	Grado de desempeño
Pizacoma	Chucuito	Pisacoma	PG 58 - 16
Capazo	El Collao	Capaso	PG 58 - 34
Mazo Cruz	El Collao	Santa Rosa	PG 58 - 22
Ilo	Ilo	El Algarrobal	PG 70 - 10
Punta Coles	Ilo	Ilo	PG 64 - 10
Pampa Umalso	Mariscal Nieto	Carumas	PG 58 - 16
Quinistaquillas	Mariscal Nieto	Carumas	PG 70 - 10
Moquegua	Mariscal Nieto	Moquegua	PG 70 - 10
Tumilaca	Mariscal Nieto	Samegua	PG 58 - 16
Calacoa	Mariscal Nieto	San Cristobal	PG 58 - 16

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. DATOS CLIMÁTICOS

5.1.1. Limitación de los datos del proyecto POWER de la NASA

La NASA advierte acerca de su metodología de recopilación de data sobre la superficie terrestre e indica al respecto “Los datos/parámetros en la versión POWER 901 se proporciona en una cuadrícula global con resoluciones espaciales iguales a los datos de entrada. Esa resolución es de 1,0° latitud por 1,0° longitud para los conjuntos de datos de radiación y ½° latitud por ⅝° longitud para los conjuntos de datos meteorológicos” (NASA POWER, s. f.).

Es decir, para los parámetros necesarios en esta investigación se tiene la restricción de una cuadrícula aproximada de 55 km de latitud por 70 km de longitud. Aun así, en la descarga de datos masivos, estos se dividen en cuadrículas de ½° de latitud por ½° de longitud. Se tiene el Anexo 46 en donde se muestra un mapa con la última división comentada. El territorio peruano, no siendo exento el territorio tacneño o sur peruano, es atravesado por la cordillera de los andes, por lo cual la topografía es accidentada, una cuadrícula como la indicada en el párrafo anterior abarca diferentes altitudes.

Se han utilizado los datos de la NASA en las estaciones en donde no se cuenta con data disponible.

5.1.2. Limitación de las estaciones meteorológicas del SENAMHI

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú indica en su manual técnico de instalación y operaciones que:

Las estaciones administradas por SENAMHI no son repartidas en forma homogénea a nivel nacional, estas se instalan en puntos representativos. Esta institución indica que “Para determinar si las condiciones meteorológicas son representativas en la zona de monitoreo elegida, ésta debe estar instalada en un espacio geográfico homogéneo característico de su entorno.” (SENAMHI, 2021)

Teniendo esta consideración se ha recopilado información de las estaciones con datos disponibles; la estaciones sin data, independientemente de su fin, fueron consideradas por su ubicación geográfica.

5.1.3. Zonificación ideal

Para realizar los mapas de clasificación climática nacional el SENAMHI comenta su metodología e indica:

2.5 Álgebra de Mapas de los Índices de Thornthwaite

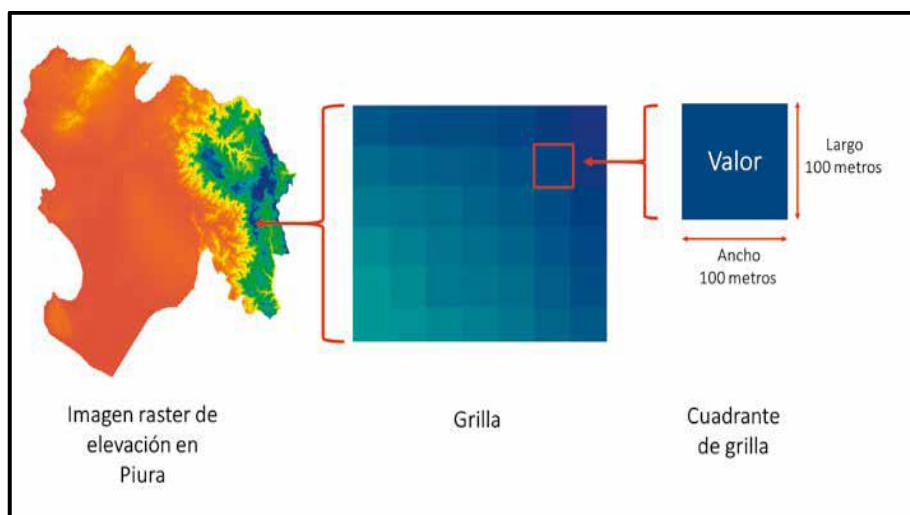
La técnica de álgebra de mapas, se utilizó para obtener el Mapa de Clasificación Climática del Perú y consistió en aplicar los parámetros obtenidos del modelo estadístico (θ_n), utilizando como información las imágenes ráster de las variables: altitud, latitud, longitud y región natural (Cuadro N°2.7).

A su vez, la resolución de las imágenes ráster se remuestrearon de una resolución de 90 a 100 metros, como se puede ver en la Figura N°2.1. Los parámetros se aplicaron a cada cuadrante de la grilla que cubre todo el país con el fin de estimar los índices de Thornthwaite; este proceso se replicó a toda la grilla, obteniendo una capa ráster correspondiente a cada índice de Thornthwaite. (SENAMHI, 2021)

La figura N°2.1 referenciada trata de la Figura 22, en el, SENAMHI trabajó con imágenes satelitales con una resolución alta la cual permite mayor exactitud en sus zonificaciones o mapas.

Figura 22

Modelo de datos ráster trabajado en el mapa de clasificación climática.

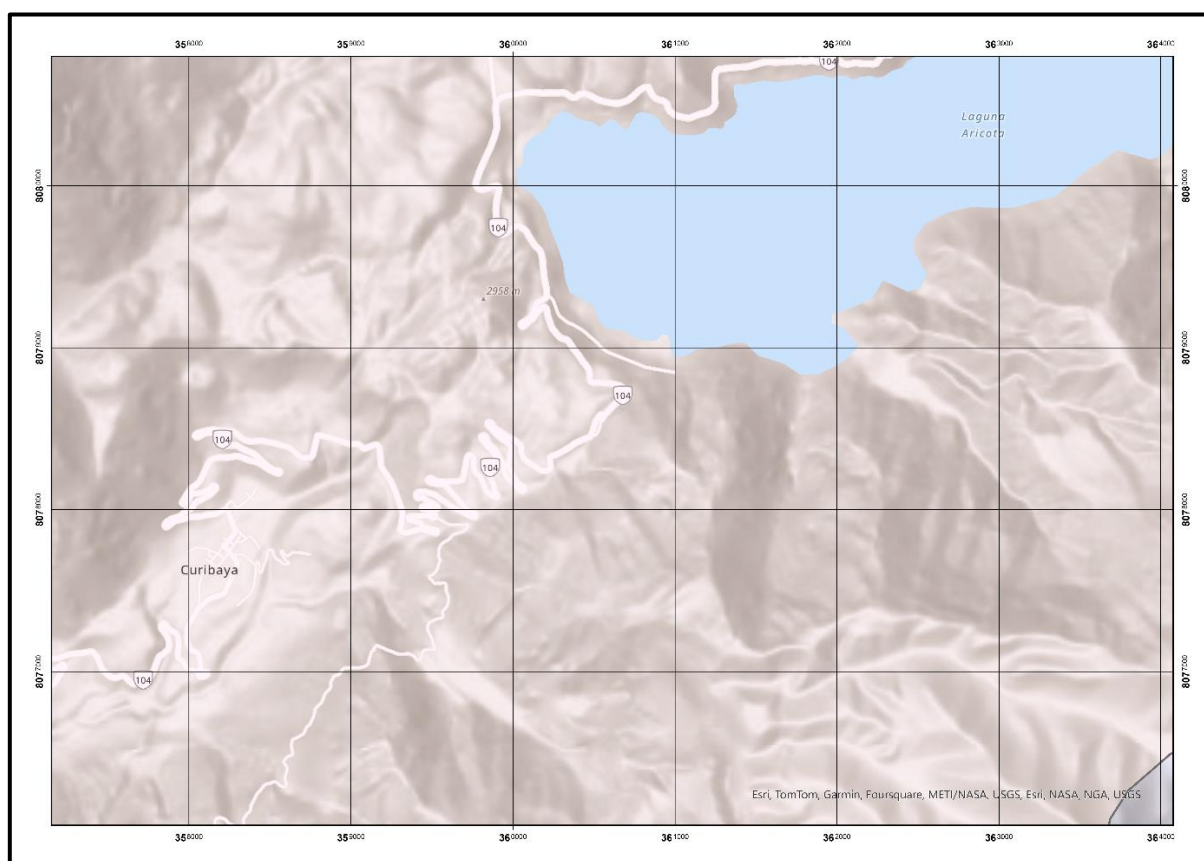


Nota: extraído de SENAMHI (2021)

La forma óptima de realizar un mapa de Grado de desempeño para ligantes asfálticos según la clasificación SUPERPAVE en la región de Tacna, es dividir el territorio en cuadrículas de 1 km por 1 km y generar las variables climáticas en estas zonas. Esta división es propuesta, pues se considera zonas representables.

Figura 23

División propuesta para óptima zonificación del grado de desempeño.



Nota: División en cuadrículas de 1 km por 1 km en la laguna de Aricota.

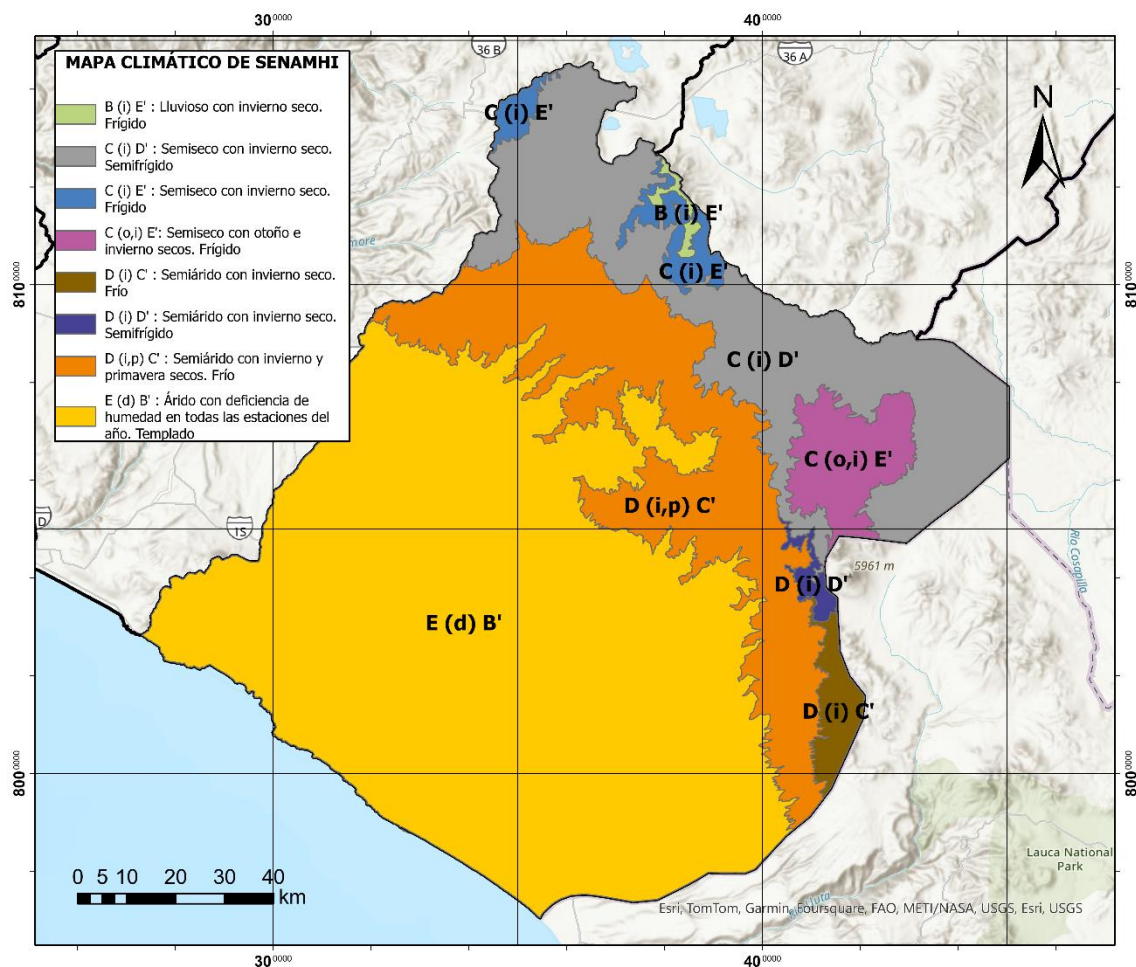
5.2. TEMPERATURA DEL AIRE

El SENAMHI en realiza un mapa de clasificación climática empleando el sistema de Charles Warren Thornthwaite, ellos indican:

El departamento de Tacna presenta 8 tipos de clima (Mapa N° 3.23). El clima de mayor extensión es el árido, con deficiencia de humedad todo el año, y templado, E(d)B', que se encuentra en una extensa franja entre el litoral y los 2 500 m s. n. m., abarcando las provincias de Tacna y Jorge Basadre. Entre los cotas 2 500 y 4 000 m s. n. m. de las provincias de Jorge Basadre, Candarave, Tacna y Tarata, el clima es semiárido, sin humedad en invierno y primavera, y varía entre frío y semifrío, D(i,p)C', D(i)C' y D(i) D'. En las provincias de Tarata y Candarave, entre los 4 000 y 4 500 m s. n. m., el clima es semiseco sin humedad en otoño e invierno, variando entre semifrío y frío, C(o,i)E', C(i)E' y C(i)D'. En altitudes superiores a 4 500 m s. n. m. de las provincias de Candarave y Tarata, el clima es lluvioso y frío, con invierno seco, B(i)E'. Es importante señalar que, bajo el clima árido, cerca al litoral, se encuentran ecosistemas aislados de lomas costeras con características particulares de neblinas y vegetación en el invierno. (SENAMHI, 2021)

Figura 24

Mapa de clasificación climática del departamento de Tacna



Nota: extraído de SENAMHI (2021)

El SENAMHI realiza este mapa considerando 30 años consecutivos, lo cual es una convención de recopilación de data ampliamente aceptada en climática. Un periodo como el indicado provee una muestra suficientemente amplia como para advertir

variaciones climáticas a lo largo del lapso establecido, este incluye algunos ciclos naturales como El Niño y La Niña.

los variables climáticas analizadas en los anexos desde el 1 hasta el 45 corresponden a data histórica en cada una de las estaciones por lo cual los resultados obtenidos para las temperaturas extremas del aire son confiables, estos son calculados utilizando una curva normal al 98% de confiabilidad, es decir, el 98% de los casos en la temperatura del aire serán atendidos, dejando a eventos extra normales un 2% de casos.

A este nivel de confianza se muestra una temporada extremadamente calurosa o extremadamente fría, condiciones que nos permiten realizar un diseño de asfalto en caliente acorde a las zonas a intervenir.

5.3. TEMPERATURA DEL PAVIMENTO

5.3.1. Relación con la temperatura del aire

Akbari & Matthews (2012) indican que “Las diferencias de temperatura entre el aire y el pavimento son el resultado de varios factores. La absorción diferencial de calor por parte del pavimento debido a su composición y color es un aspecto relevante”.

A su vez Grimmond & Oke (1999) mencionan que “el tiempo de respuesta del aire y del pavimento a las condiciones meteorológicas, como la radiación solar directa, la nubosidad y el viento, contribuye a estas disparidades térmicas”.

La temperatura del aire no es la misma que el del pavimento, es decir, el pavimento asfáltico puede absorber y retener más calor que el aire circundante debido a su composición y color como ya se mencionó anteriormente. Los materiales oscuros tienden a absorber más radiación solar, aunque el clima este nuboso, lo que eleva su temperatura considerablemente.

Esta diferencia de temperatura entre el aire y el pavimento asfáltico tienen implicaciones importantes, por lo cual es considerado para el cálculo de la temperatura del pavimento.

5.3.2. Modelos matemáticos

Para el cálculo de la temperatura máxima y mínima del pavimento se han considerado los modelos matemáticos emitidos por el Programa estratégico de investigación en carreteras de los Estados Unidos (Strategic Highway Research Program o SHRP) y el proyecto Desempeño del pavimento a largo plazo (Long – Term Pavement Performance o LTPP). El modelo LTPP del 2004 para la temperatura máxima del pavimento y el modelo LTPP 1998 – 2000 para la temperatura mínima del pavimento representan las condiciones reales del pavimento, por lo que se usaran como valores del pavimento.

Se tiene las Tablas 21, 22, 23 y 24 en donde se muestran las temperaturas extremas del pavimento para tres modelos matemáticos en todas las estaciones climáticas.

5.4. GRADO DE DESEMPEÑO

Quispe (2021) afirma que “Esta metodología fue desarrollada en USA con la finalidad de clasificar a los asfaltos en función de comportamiento o performance térmica, para así controlar las deformaciones permanentes que sufre el pavimento durante su periodo de servicio”.

Esta metodología considera el clima para seleccionar el asfalto que dure más y desempeñe mejor. Las temperaturas que intervienen en esta metodología son la del ambiente más alta y más baja, en el cual el pavimento se mantendrá sin fallas soportando a esos niveles de temperatura.

Morea (2011) indica:

La selección del asfalto debe hacerse principalmente en base al clima. Sin embargo, también deben incluirse factores de proyecto tales como el nivel de tránsito y las velocidades de circulación. Históricamente, al diseñar un pavimento la resistencia al ahuellamiento se considera a partir de tener una adecuada consistencia del asfalto para soportar las condiciones climáticas y de cargas del tránsito. En un clima caluroso o con excesiva carga se utiliza un asfalto más “duro” y si el clima es frío uno más “blando”.

La correcta determinación del Grado de desempeño del ligante asfáltico en un proyecto, garantiza la vida útil y seguridad vial de la estructura relacionada.

Los valores en las Tablas 25 y 26 representan el Grado de desempeño del pavimento asfáltico en las estaciones revisadas. Así; por ejemplo; el clima de la zona aledaña a la estación Cairani en la provincia de Candarave indica que requiere un ligante asfáltico con Grado de desempeño PG 64 – 10, es decir que este ligante tiene un desempeño satisfactorio hasta una temperatura alta de 64° y hasta temperaturas bajas de -10°.

Es preciso mencionar que el mínimo Grado de desempeño es PG 58 – 28 correspondiendo a la estación Chuapalca en la provincia de Tarata y el máximo es PG 70 – 10 que corresponde a la estación Locumba en la provincia de Jorge Basadre

5.5. ZONIFICACIÓN DE ACUERDO A LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS DEL GRADO DE DESEMPEÑO

5.5.1. Metodología realizada

Se ordenó los grados de desempeños indicados en las Tablas 25 y 26 en función a la temperatura abarcada por cada uno de estos en la Tabla 27; en la columna denominada Nivel se colocó un número asociado al orden del PG.

Utilizando un programa de proceso de sistemas de información geográfica (ArcGIS) se ubica cada punto y considerando el valor de la Columna Nivel se procede a interpolar los valores para generar un ráster como el de la Figura 25.

Tabla 27*Ordenamiento del grado de desempeño*

Grado de desempeño	Nivel
PG 82 - 10	1
PG 82 - 16	2
PG 82 - 22	3
PG 82 - 28	4
PG 82 - 34	5
PG 76 - 10	6
PG 76 - 16	7
PG 76 - 22	8
PG 76 - 28	9
PG 76 - 34	10
PG 70 - 10	11
PG 70 - 16	12
PG 70 - 22	13
PG 70 - 28	14
PG 70 - 34	15
PG 70 - 40	16
PG 64 - 10	17
PG 64 - 16	18
PG 64 - 22	19
PG 64 - 28	20
PG 64 - 34	21
PG 64 - 40	22
PG 58 - 16	23
PG 58 - 22	24
PG 58 - 28	25
PG 58 - 34	26
PG 58 - 40	27
PG 52 - 10	28
PG 52 - 16	29
PG 52 - 22	30
PG 52 - 28	31
PG 52 - 34	32
PG 52 - 40	33
PG 52 - 46	34
PG 46 - 34	35
PG 46 - 40	36
PG 46 - 46	37

Tabla 28*Estaciones, ubicaciones y nivel para interpolación en el departamento de Tacna*

Nombre	UTMX	UTMY	Grado de desempeño	Nivel
Cairani	355154,13	8088823,84	PG 64 - 10	17
Corachay II	362933,34	8107341,47	PG 58 - 16	23
Candarave	366553,12	8090392,66	PG 58 - 16	23
Laguna Aricota	360986,56	8078931,44	PG 58 - 16	23
Aricota	368514,94	8083609,58	PG 58 - 16	23
Ilabaya	339321,10	8073583,92	PG 64 - 10	17
Ticapampa	336209,09	8067052,17	PG 64 - 10	17
Ite	293198,13	8024214,92	PG 64 - 10	17
Locumba	312797,01	8051919,19	PG 70 - 10	11
Calana	373683,12	8012225,34	PG 64 - 10	17
Cerro Blanco	377984,11	8012900,35	PG 64 - 10	17
Coruca	345692,47	8049809,26	PG 64 - 10	17
La Tranca	343947,00	8037644,56	PG 64 - 10	17
Sama Grande	342105,58	8032688,85	PG 64 - 10	17
La Yarada	338635,72	7985841,16	PG 64 - 10	17
Calientes	378969,22	8022281,26	PG 64 - 10	17
Caplina	401890,58	8043648,55	PG 58 - 16	23
Challata	383531,56	8029897,11	PG 64 - 10	17
Toquela	400290,02	8048890,81	PG 58 - 16	23
Bocatoma El Ayro	433501,86	8056146,74	PG 58 - 16	23
Palca	398389,94	8034124,60	PG 58 - 16	23
Paucarani	417171,95	8061321,84	PG 58 - 22	24
Jorge Basadre	367520,89	8006389,12	PG 64 - 10	17
Puente Talapalca	375480,18	8067528,65	PG 58 - 16	23
Talabaya	395277,88	8059053,55	PG 58 - 16	23
Ancoaque	400142,14	8098112,43	PG 58 - 16	23
Salida Tunel Kovire	392780,00	8093836,75	PG 58 - 16	23
Vilacota	387606,72	8106889,18	PG 58 - 16	23
Challapalca	414627,87	8094356,71	PG 58 - 16	23
Chuapalca	429675,53	8086165,37	PG 58 - 28	25
La Frontera	448341,00	8078071,48	PG 58 - 16	23
Sitajara	379425,57	8078365,55	PG 58 - 16	23
Susapaya	379433,72	8081632,28	PG 58 - 16	23
Tarata	389935,72	8067124,39	PG 64 - 10	17
Represa Jarumas	399233,63	8079349,76	PG 58 - 16	23

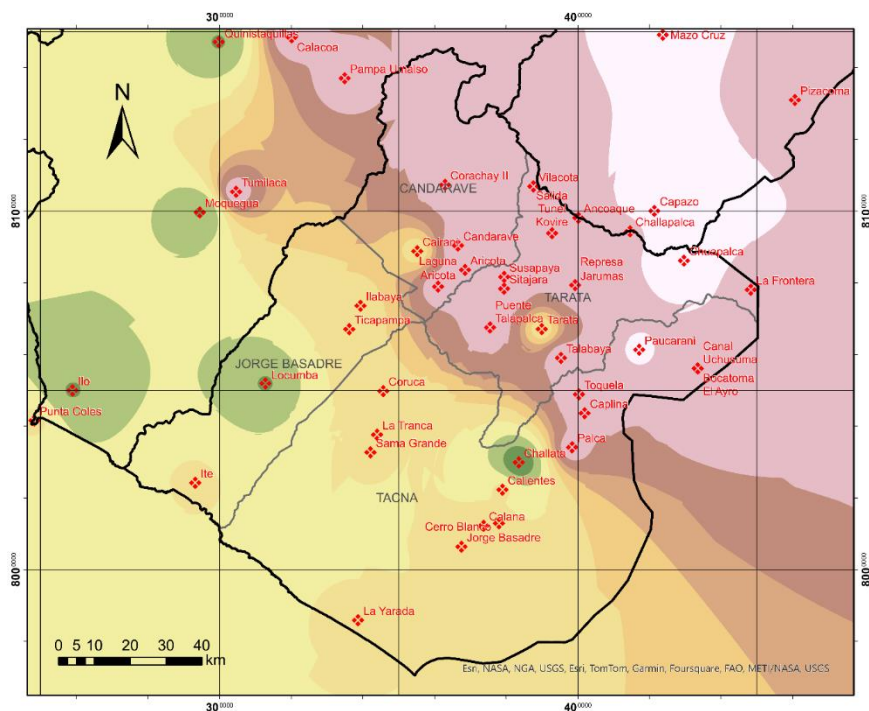
Tabla 29

Estaciones, ubicaciones y nivel para interpolación en Moquegua y Puno

Nombre	UTMX	UTMY	Grado de desempeño	Nivel
Pizacoma	460645,47	8130993,25	PG 58 - 16	23
Capazo	421402,77	8100084,35	PG 58 - 34	26
Mazo Cruz	423737,32	8149190,97	PG 58 - 22	24
Ilo	258935,52	8049983,82	PG 70 - 10	11
Punta Coles	248273,03	8041572,11	PG 64 - 10	17
Pampa Umalso	334929,01	8137074,97	PG 58 - 16	23
Quinistaquillas	299744,04	8147184,04	PG 70 - 10	11
Moquegua	294442,85	8099647,07	PG 70 - 10	11
Tumilaca	304575,20	8105395,52	PG 58 - 16	23
Calacoa	320090,47	8148460,33	PG 58 - 16	23

Figura 25

Ráster interpolado con los valores de PG encontrados

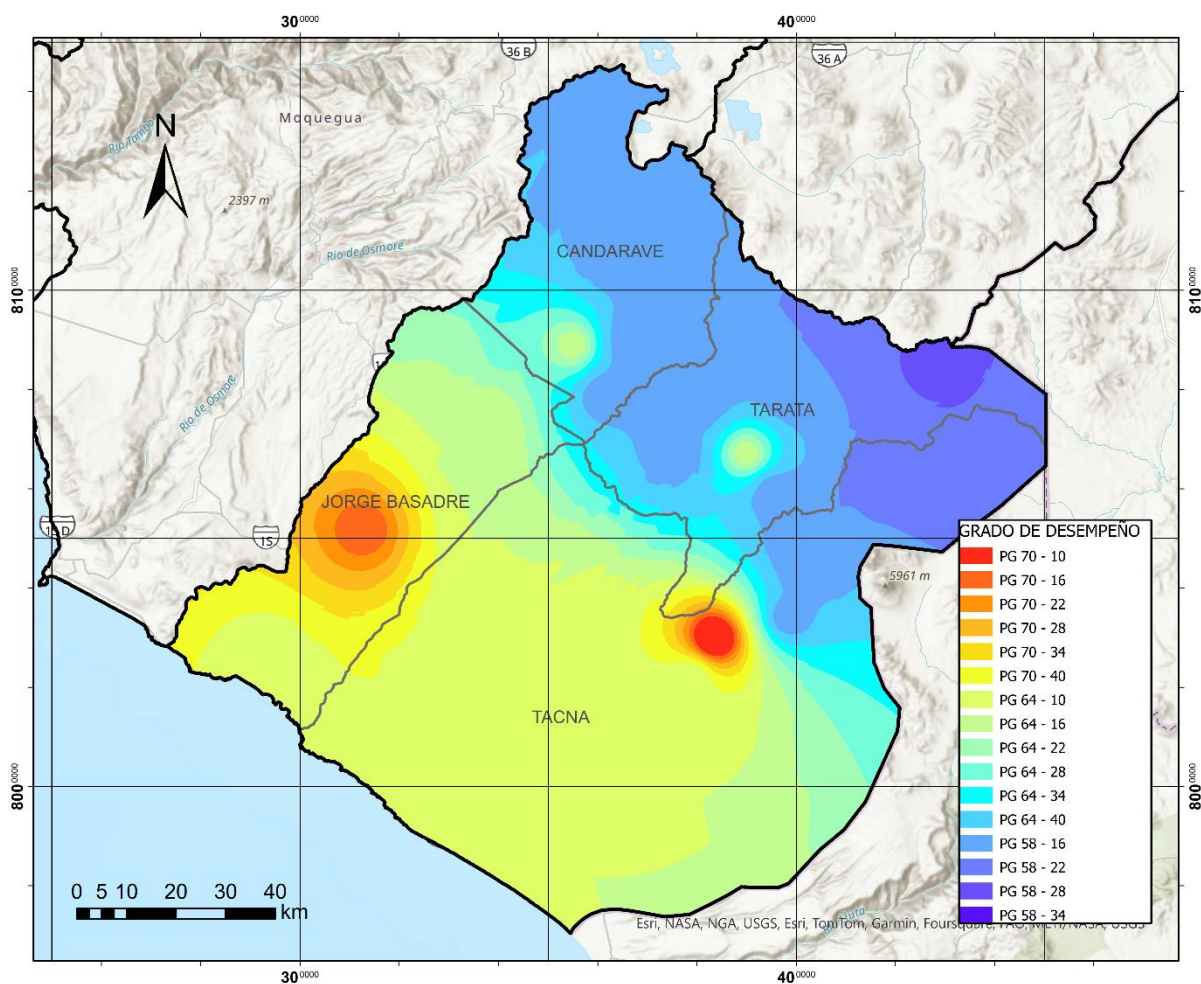


5.5.2. Resultados

Considerando lo descrito anteriormente se tiene la siguiente figura:

Figura 26

Mapa del Grado de desempeño del departamento de Tacna



5.5.3. Comparación con otros resultados

Se tiene al respecto el mapa de distribución del PG del ligante asfáltico con una confiabilidad del 98% del ing. Jorge Escalante en la Figura 27, el cual muestra una zonificación a nivel nacional.

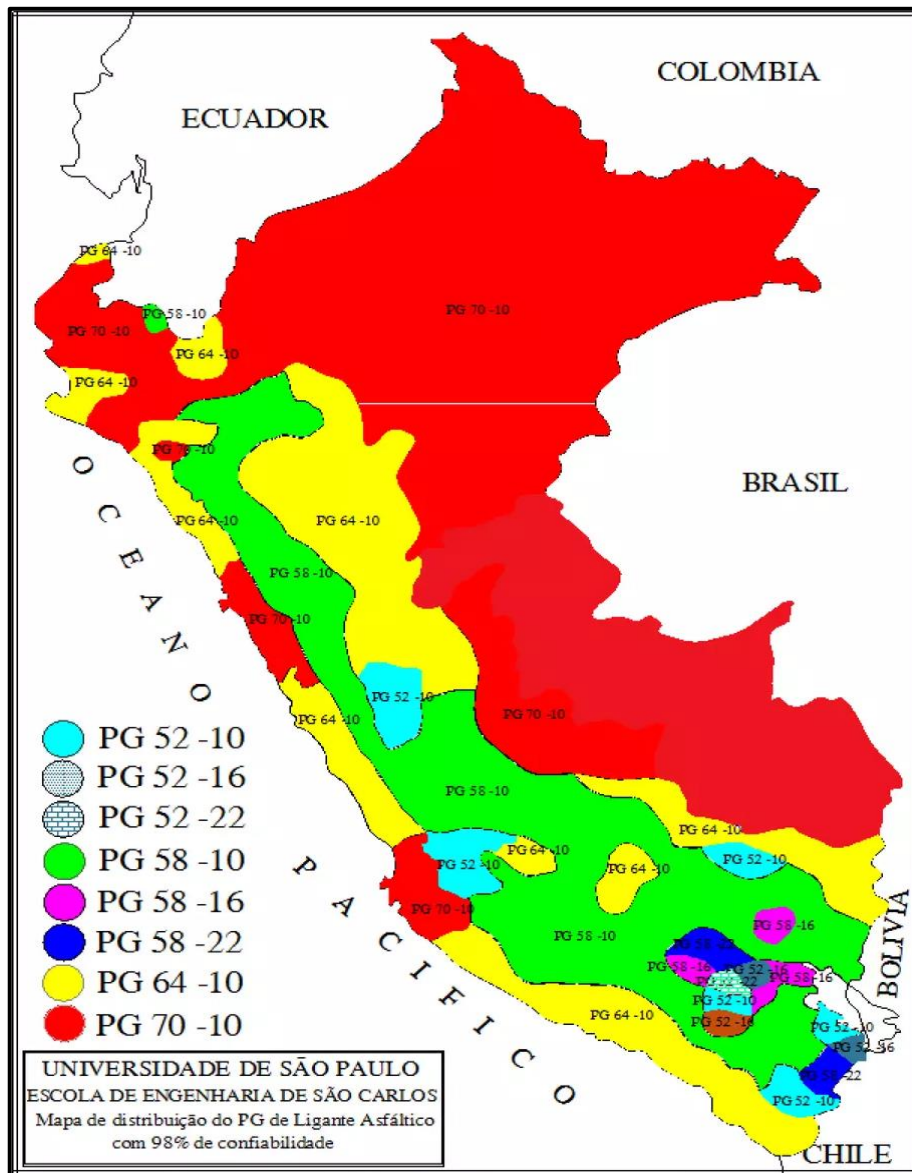
Los valores encontrados en esta investigación y producto del mapa para la costa son desde PG 64 – 28 hasta PG 70 – 10; valores que coinciden con los del ing. Escalante: PG 64 – 10. Para el caso de la sierra se tiene valores desde PG 64 – 38 hasta PG 58 – 34; estos valores varían levemente con respecto al mapeo realizado por el ing. Escalante pues este encuentra un valor de PG 52 – 10 para la sierra del departamento de Tacna y PG 58 – 22 para parte de la sierra del departamento de Puno.

5.6. CORRECCIÓN DEL PG EN FUNCIÓN AL TRÁFICO Y VELOCIDAD

El ligante asfáltico es un componente esencial en la construcción de carreteras pavimentadas, proporcionando cohesión y resistencia a la mezcla asfáltica. Sin embargo, su desempeño puede variar según las condiciones de tráfico y la velocidad a las que están expuestas las carreteras. El tráfico pesado y la velocidad elevada pueden someter al ligante asfáltico a tensiones mecánicas y térmicas significativas, lo que puede afectar su durabilidad y seguridad. Comprender cómo estas variables influyen en el desempeño del ligante asfáltico es crucial para diseñar pavimentos que puedan resistir las demandas del entorno vial.

Figura 27

Mapa General del Grado de desempenho del Perú



Nota: extraído de Escalante (2006).

El tráfico pesado y la velocidad elevada aumentan la susceptibilidad del ligante asfáltico a la fatiga, especialmente en áreas de frenado y aceleración frecuentes. La deformación térmica también es un factor importante, especialmente en regiones con variaciones extremas de temperatura. Además, el desgaste por abrasión puede ser más pronunciado a velocidades más altas, lo que puede reducir la vida útil del pavimento y aumentar la necesidad de mantenimiento.

Con lo indicado se debe tomar especial atención a la corrección del Grado de desempeño del ligante asfáltico por estos dos factores: nivel de tráfico y velocidad.

Se tiene los datos del estudio de tráfico del proyecto “MEJORAMIENTO DE LA AVENIDA LITORAL EN EL TRAMO AV. CRISTO REY – AV. TARAPACÁ EN EL DISTRITO DE TACNA, PROVINCIA DE TACNA - TACNA” en la figura 28:

Figura 28

Datos del estudio de tráfico 1 en la av. Litoral en el distrito y provincia de Tacna

i) Las velocidades de operación en los tramos de la vía en estudio son bajas como se puede visualizar en el cuadro siguiente:

Sentido	Sentido	TIEMPO DE DEMORA (minutos)					Longitud Km.
		TIPOS DE VEHICULOS					
		Auto	C Rural	Omnibus	Camion	Articulados	
Av. Litoral	E-O	2.89	2.92	4.49	7.90	11.49	0+970
Velocidad Km/h		24.6	24.7	17.7	20.4	5.61	0+970

Sentido	Sentido	TIEMPO DE DEMORA (minutos)					Longitud Km.
		TIPOS DE VEHICULOS					
		Auto	C Rural	Omnibus	Camion	Articulados	
Av. Litoral	O-E	2.02	2.04	2.51	3.32	3.19	0+970
Velocidad Km/h		30.2	29.2	24.8	23.3	18.44	0+970

Nota: extraído de Gobierno Regional de Tacna (2017)

Figura 29

Datos del estudio de tráfico 2 en la av. Litoral en el distrito y provincia de Tacna

i) Las velocidades de operación en los tramos de la vía en estudio son bajas como se puede visualizar en el cuadro siguiente:

Sentido	Sentido	TIEMPO DE DEMORA (minutos)					Longitud Km.
		TIPOS DE VEHICULOS					
		Auto	C Rural	Omnibus	Camion	Articulados	
Av. Litoral	E-O	2.89	2.92	4.49	7.90	11.49	0+970
Velocidad Km/h		24.6	24.7	17.7	20.4	5.61	0+970

Sentido	Sentido	TIEMPO DE DEMORA (minutos)					Longitud Km.
		TIPOS DE VEHICULOS					
		Auto	C Rural	Omnibus	Camion	Articulados	
Av. Litoral	O-E	2.02	2.04	2.51	3.32	3.19	0+970
Velocidad Km/h		30.2	29.2	24.8	23.3	18.44	0+970

j) Los ejes equivalentes para los tramos de la vía Av. Litoral se muestran a continuación:

Tramos Av. Litoral	Año		
	2017	2027	2037
Av. Cristo Rey - Av. Nora Flores	3.25E+05	4.19E+06	9.53E+06
Av. Nora Flores - Av. Las Magnolias	3.31E+05	4.26E+06	9.69E+06
Av. Las Magnolias - Av. Caplina	2.95E+05	3.97E+06	9.44E+06
Av. Caplina - Av. Tarapacá	3.08E+05	4.15E+06	9.88E+06

Nota: extraído de Gobierno Regional de Tacna (2017)

Se puede notar que los ejes equivalentes son menores a 10E+06 para el año proyecto y a su vez que la velocidad es baja oscilando en el rango de 20 a 70 km/h. El Grado de desempeño según la Figura 26 en la zona de ubicación del proyecto analizado es de PG 64 – 10.

De acuerdo a la Tabla 30, es necesario hacer la corrección para el Grado de desempeño encontrado en un grado, es decir, el valor del PG corregido será PG 70 – 10. Esta corrección será necesaria en cada proyecto a realizarse luego de considerar el Mapa de Grado de desempeño del ligante asfáltico en el departamento de Tacna.

Tabla 30

Corrección por ejes equivalentes y velocidad del tráfico.

Ejes equivalentes	$v < 20 \text{ km/h}$	$20 \text{ km/h} \leq v \leq 70 \text{ km/h}$	$v > 70 \text{ km/h}$
$ESAL < 0,3$	-	-	-
$0,3 \leq ESAL < 3$	2	1	-
$3 \leq ESAL < 10$	2	1	-
$10 \leq ESAL < 30$	2	1	-
$ESAL \geq 30$	2	1	1

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados en la presente investigación tenemos las siguientes conclusiones:

1. Para el objetivo general se determinó la relación que existe entre la zonificación de acuerdo a las condiciones climáticas y el Grado de desempeño del ligante asfáltico, según la metodología SUPERPAVE, en la región de Tacna – Perú al 2023 generando un mapa de Grado de desempeño, mediante una recopilación de data histórica en ubicaciones determinadas, teniendo como fuentes datos del SENAMHI y datos del proyecto POWER de la NASA. Para esto se aplicó los modelos matemáticos del Strategic Highway Research Program (SHRP) y del Long-Term Pavement Performance (LTPP). Para la temperatura máxima del pavimento se usó el modelo LTPP 2004 y para la temperatura mínima el modelo LTPP 1998 – 2000. Este análisis climático realizado contribuye a la correcta elección del ligante asfáltico en los proyectos viales en la región de Tacna.
2. Para el primer objetivo específico, se determinó la relación existente entre la zonificación de acuerdo a las condiciones climáticas altas y el Grado de desempeño del ligante asfáltico, según la metodología SUPERPAVE, en la región de Tacna – Perú al 2023 generando un mapa de Grado de desempeño para ligantes

asfálticos, en el cual se muestra el Grado de desempeño correspondiente a altas temperaturas en la costa de Tacna.

3. Para el segundo objetivo específico, se determinó la relación que existe entre la zonificación de acuerdo a las condiciones climáticas bajas y el Grado de desempeño del ligante asfáltico, según la metodología SUPERPAVE, en la región de Tacna – Perú al 2023 generando un mapa de Grado de desempeño para ligantes asfálticos, en el cual se muestra el Grado de desempeño correspondiente a bajas temperaturas en la sierra de Tacna.

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda al gobierno regional, municipios y entidades involucradas el uso del presente mapa de Grado de desempeño para ligantes asfálticos, en los proyectos viales que se implemente en la región de Tacna, tanto para la costa como para la sierra, así también se recomienda su uso a los investigadores y/o ingenieros proyectistas que deseen impulsar la metodología SUPERPAVE en la región, pues se ha contado con datos históricos de temperatura en las estaciones estudiadas. Sin embargo, para obtener resultados más precisos y ajustados a las necesidades específicas, es crucial complementar este análisis con una evaluación del impacto del tráfico vehicular, pues al integrar esta corrección en el proceso de generación del mapa, se logra una representación más completa
2. Se recomienda a las entidades relacionadas e interesados, mantener el Mapa de Grado de desempeño de este trabajo actualizado de forma periódica, a medida que se actualicen las bases de datos climáticas proporcionadas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y conforme se realicen mejoras o actualizaciones en los modelos matemáticos utilizados. La actualización continua del mapa permitirá reflejar con mayor precisión los cambios en las condiciones climáticas y en los modelos de predicción, lo que garantizará que la evaluación del Grado de desempeño se base en la información

más reciente y precisa disponible. Esto es especialmente importante para mantener la relevancia y la utilidad de los resultados de la investigación en el tiempo.

3. Se recomienda también al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) expandir su red de estaciones climáticas en la región de Tacna, ya que la disponibilidad de datos actualizados sobre las temperaturas máximas y mínimas es fundamental para satisfacer los requisitos necesarios en el cálculo del Grado de Desempeño, especialmente según los estándares establecidos por la clasificación SUPERPAVE. Dado que la información climática actualmente disponible en la zona es limitada, la implementación de más estaciones climáticas en Tacna permitiría recopilar datos precisos y actualizados sobre las condiciones meteorológicas locales. Estos datos son esenciales para calibrar y ajustar los modelos utilizados en el cálculo del Grado de Desempeño, lo que garantizaría una evaluación más precisa y confiable de la calidad de los pavimentos en la región.
4. Se recomienda también a los futuros investigadores que se interesen en este tema el uso de las nuevas tecnologías en el procesamiento de imágenes satelitales ya que nos brindan información más precisa en cuanto a los datos meteorológicos.

BIBLIOGRAFÍA

- Akbari, H., & Matthews, H. (2012). Global cooling updates: Reflective roofs and pavements. *Energy and Buildings*(55), 2-6.
- Álcala , R., & Delgado, C. (2020). *Mapa de grado de desempeño para ligantes asfálticos según clasificación Superpave, aplicado en las regiones Lima, Áncash e Ica (Tesis de grado, Universidad Ricardo Palma)*. Repositorio institucional.
- Alonso, A., Morales, J., Garrido, C., Abreu, O., & Martinez, T. (2020). Determinación y zonificación del grado de desempeño de los asfaltos para Cuba según la metodología Superpave. *Ingenieria y Desarrollo*, 38.
- Carpeta Georeferencial Región Tacna Perú. (29 de Marzo de 2019). <https://www.congreso.gob.pe/>. Obtenido de <https://www.congreso.gob.pe/Docs/DGP/GestionInformacionEstadistica/files/i-23-tacna.pdf>
- Contreras, P. (2007). *Mapa de Recomendación de Uso de Ligantes Asfálticos Según Clasificación Superpave, Aplicado al Tramo entre Santiago y Los Angeles (Tesis de grado, Universidad de Chile)*. Repositorio institucional. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104591>

- Escalante, J. (Julio de 2022). Conferencia virtual de Fundamentos de la metodología SUERPAVE para diseño de mezclas asfálticas en caliente. Lima, Perú.
- García, A. (2016). Superpave para diseño de mezclas asfálticas.
- Grimmond, C., & Oke, T. (1999). Aerodynamic Properties of Urban Areas Derived from Analysis of Surface Form. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 38, 1262-1292.
- Huamán Guerrero, N., & Chang Albitres, C. M. (2016). *La deformación permanente en las mezclas asfálticas y el consecuente deterioro de los pavimentos asfálticos en el Perú. Perfiles De Ingeniería*, 11(11). Obtenido de https://doi.org/10.31381/perfiles_ingenieria.v2i11.402
- Huamán, N. (2020). Tecnología Superpave. Conferencia EsVial. UNMSM. Lima: EsVial.
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. (2011). *Minería sobre la geología económica de la región de Tacna [Archivo PFF]*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3523>
- Lazo, R. (2012). Metodología SUPERPAVE para el desarrollo de Pavimentos Asfálticos de Alto Desempeño. *EMB Construcción*.
- Méndez, R. (2012). Superior PERforming Asphalt PAVements (SUPERPAVE). *Mente & Materia*, 26-27.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2022a). *Red Vial Existente del Sistema Nacional de Carreteras, según Superficie de Rodadura 1990-Jul2022 [Archivo Excel]*. Obtenido de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/404047/Red%20Vial%20Existente%20del%20Sistema%20Nacional%20de%20Carreteras%2C%20seg%C3%BA n%20Superficie%20de%20Rodadura%201990-Jul2022.xlsx?v=1671674826>

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2022b). *Red Vial Existente del Sistema Nacional de Carreteras, según Superficie de Rodadura 1990-Jul2022 [Archivo Excel]*. Obtenido de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/404048/Red%20Vial%20Existente%20del%20Sistema%20Nacional%20de%20Carreteras%2C%20seg%C3%BA n%20Departamento%202010-Jul2022.xlsx?v=1671674826>

Montejo, a. (2002). *Ingeniería de Pavimentos Para Carreteras Tomo I* (Segunda ed.). Universidad Católica de Colombia Ediciones y Publicaciones.

Morea, F. (2011). *Deformaciones permanentes en mezclas asfálticas: Efecto de la reología de los asfaltos, la temperatura y las condiciones de carga (Tesis de doctorado, Universidad Nacional de la Plata)*. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/1457>

NASA POWER. (s. f.). *NASA POWER / Docs*. Obtenido de POWER:
<https://power.larc.nasa.gov/docs/methodology/>

Plan de Desarrollo Regional Concertado TACNA. (2014).
<http://www.regiontacna.gob.pe>. Obtenido de
http://ww2.regiontacna.gob.pe/grt/documentos/2011/personal/PLAN_B2014.pdf

Quispe Huarocc, M. (2021). *Ecuacion de ajuste de temperaturas maximas para analizar el asfalto con grado de desempeño optimo en la carretera central margen izquierda kilometros 0+040 al 1+060 (Tesis, Universidad Peruana del Centro)*.
Repositorio institucional. Obtenido de
<http://repositorio.upecen.edu.pe/handle/UPECEN/286>

Rivero Droguett, M. A. (2018). *Diseño de una mezcla asfaltica en caliente mediante la metodologia Superpave con la incorpeoracion de 25% de pavimento asfaltico reciclado - Chile (tesis de grado, Universidad Tecnica Federico Santa Maria)*.
Repositorio institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11673/42232>

Romero Saldaña, M. (2016). Metodología de la Investigación: Pruebas de bondad de ajuste a una distribucion normal. *Enfermeria del Trabajo*, 6(3). Obtenido de
<https://enfermeriadeltrabajo.com/wp-content/uploads/2020/11/Revista-ET-Vol.-6-Nu%CC%81m.-3.pdf>

SENAMHI. (2021). *CLIMAS DEL PERÚ – Mapa de Clasificación Climática Nacional*.

Lima: RED ACTIVA SOLUCIONES GRAFICAS S.A.C.

SENAMHI. (2021). *Instalación y operación de estaciones*.

SENAMHI. (s. f.). *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú*

(SENAMHI). Obtenido de geoidep: <https://www.geoidep.gob.pe/servicio-nacional-de-meteorologia-e-hidrologia-del-peru-senamhi>

Witczak, M., & Sotil, A. (2005). Últimos avances de superpave: buscando un ensayo que

acompañe al método. En U. S. Loyola (Ed.). Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14005/1505>

ANEXOS

Anexo 1

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación Cairani

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1981	25,64 °C	6,48 °C
1982	25,74 °C	7,23 °C
1983	26,36 °C	8,58 °C
1984	25,14 °C	8,01 °C
1985	25,35 °C	6,53 °C
1986	26,05 °C	6,99 °C
1987	26,34 °C	7,07 °C
1988	25,76 °C	7,44 °C
1989	25,50 °C	7,26 °C
1990	26,05 °C	7,33 °C
1991	26,37 °C	7,42 °C
1992	26,95 °C	6,45 °C
1993	25,78 °C	7,83 °C
1994	26,22 °C	7,56 °C
1995	26,14 °C	7,41 °C
1996	25,75 °C	7,05 °C
1997	26,48 °C	8,46 °C
1998	27,46 °C	7,62 °C
1999	25,49 °C	7,33 °C
2000	25,79 °C	7,16 °C
2001	25,74 °C	7,55 °C
2002	26,73 °C	6,59 °C
2003	26,72 °C	7,36 °C
2004	26,62 °C	8,14 °C
2005	26,85 °C	7,29 °C
2006	27,02 °C	7,94 °C
2007	26,49 °C	7,84 °C
2008	26,59 °C	7,23 °C
2009	26,63 °C	6,95 °C
2010	26,90 °C	5,80 °C
2011	25,91 °C	7,87 °C
2012	25,90 °C	8,22 °C
2013	26,80 °C	7,92 °C
2014	26,45 °C	7,36 °C
2015	27,58 °C	7,67 °C
2016	27,44 °C	9,08 °C
2017	26,89 °C	7,64 °C
2018	26,63 °C	8,43 °C
2019	26,90 °C	6,47 °C
2020	27,14 °C	8,05 °C
2021	26,84 °C	7,48 °C
2022	26,38 °C	7,55 °C
2023	26,83 °C	9,05 °C

Nota: Proyecto POWER de la NASA.

Anexo 2

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación Corachay II

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1981	18,02 °C	-8,43 °C
1982	17,59 °C	-8,24 °C
1983	19,78 °C	-6,53 °C
1984	14,87 °C	-6,99 °C
1985	16,75 °C	-8,97 °C
1986	16,56 °C	-7,85 °C
1987	18,65 °C	-7,06 °C
1988	17,16 °C	-7,25 °C
1989	17,42 °C	-6,70 °C
1990	17,46 °C	-6,77 °C
1991	18,55 °C	-7,74 °C
1992	18,56 °C	-7,32 °C
1993	17,39 °C	-7,80 °C
1994	17,17 °C	-6,92 °C
1995	18,52 °C	-8,23 °C
1996	17,82 °C	-8,77 °C
1997	18,62 °C	-8,16 °C
1998	19,90 °C	-7,02 °C
1999	17,37 °C	-6,74 °C
2000	17,75 °C	-6,99 °C
2001	18,93 °C	-6,62 °C
2002	17,55 °C	-7,31 °C
2003	18,47 °C	-7,08 °C
2004	17,96 °C	-7,05 °C
2005	17,71 °C	-6,13 °C
2006	18,18 °C	-6,90 °C
2007	18,08 °C	-6,29 °C
2008	18,57 °C	-6,15 °C
2009	18,13 °C	-6,71 °C
2010	18,77 °C	-7,11 °C
2011	18,56 °C	-6,25 °C
2012	18,35 °C	-6,12 °C
2013	17,89 °C	-6,42 °C
2014	18,75 °C	-6,97 °C
2015	19,24 °C	-6,72 °C
2016	18,74 °C	-6,71 °C
2017	18,80 °C	-6,42 °C
2018	18,14 °C	-6,38 °C
2019	18,27 °C	-7,41 °C
2020	18,08 °C	-6,28 °C
2021	17,53 °C	-6,02 °C
2022	18,42 °C	-6,91 °C
2023	19,15 °C	-6,13 °C

Nota: Proyecto POWER de la NASA.

Anexo 3

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación Candarave

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1981	21,30 °C	-3,18 °C
1982	19,94 °C	-1,39 °C
1983	22,64 °C	-1,37 °C
1984	19,54 °C	-1,86 °C
1985	20,23 °C	-2,42 °C
1986	20,50 °C	-2,13 °C
1987	21,16 °C	-2,41 °C
1988	20,16 °C	-1,46 °C
1989	19,97 °C	-1,52 °C
1990	21,20 °C	-1,58 °C
1991	21,81 °C	-2,85 °C
1992	21,17 °C	-2,70 °C
1993	20,55 °C	-2,10 °C
1994	20,25 °C	-1,92 °C
1995	21,16 °C	-1,37 °C
1996	20,38 °C	-2,04 °C
1997	21,08 °C	-1,43 °C
1998	22,49 °C	-1,66 °C
1999	20,11 °C	-3,07 °C
2000	20,47 °C	-2,05 °C
2001	21,63 °C	-1,48 °C
2002	20,91 °C	-2,35 °C
2003	22,63 °C	-1,15 °C
2004	20,57 °C	-2,03 °C
2005	20,63 °C	-1,39 °C
2006	20,53 °C	-1,42 °C
2007	21,54 °C	-1,29 °C
2008	21,12 °C	-1,14 °C
2009	21,89 °C	-1,55 °C
2010	22,86 °C	-1,38 °C
2011	21,05 °C	-1,35 °C
2012	20,95 °C	-0,99 °C
2013	21,37 °C	-1,30 °C
2014	22,36 °C	-1,24 °C
2015	21,98 °C	-1,30 °C
2016	22,86 °C	-2,24 °C
2017	21,35 °C	-2,52 °C
2018	22,10 °C	-1,27 °C
2019	22,52 °C	-2,70 °C
2020	21,66 °C	-1,15 °C
2021	21,18 °C	-1,92 °C
2022	21,38 °C	-1,75 °C
2023	23,08 °C	-0,50 °C

Nota: Proyecto POWER de la NASA.

Anexo 4

Temp. máximas y mínimas del aire por año en la estación Laguna Aricota

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1981	21,30 °C	-3,18 °C
1982	19,94 °C	-1,39 °C
1983	22,64 °C	-1,37 °C
1984	19,54 °C	-1,86 °C
1985	20,23 °C	-2,42 °C
1986	20,50 °C	-2,13 °C
1987	21,16 °C	-2,41 °C
1988	20,16 °C	-1,46 °C
1989	19,97 °C	-1,52 °C
1990	21,20 °C	-1,58 °C
1991	21,81 °C	-2,85 °C
1992	21,17 °C	-2,70 °C
1993	20,55 °C	-2,10 °C
1994	20,25 °C	-1,92 °C
1995	21,16 °C	-1,37 °C
1996	20,38 °C	-2,04 °C
1997	21,08 °C	-1,43 °C
1998	22,49 °C	-1,66 °C
1999	20,11 °C	-3,07 °C
2000	20,47 °C	-2,05 °C
2001	21,63 °C	-1,48 °C
2002	20,91 °C	-2,35 °C
2003	22,63 °C	-1,15 °C
2004	20,57 °C	-2,03 °C
2005	20,63 °C	-1,39 °C
2006	20,53 °C	-1,42 °C
2007	21,54 °C	-1,29 °C
2008	21,12 °C	-1,14 °C
2009	21,89 °C	-1,55 °C
2010	22,86 °C	-1,38 °C
2011	21,05 °C	-1,35 °C
2012	20,95 °C	-0,99 °C
2013	21,37 °C	-1,30 °C
2014	22,36 °C	-1,24 °C
2015	21,98 °C	-1,30 °C
2016	22,86 °C	-2,24 °C
2017	21,35 °C	-2,52 °C
2018	22,10 °C	-1,27 °C
2019	22,52 °C	-2,70 °C
2020	21,66 °C	-1,15 °C
2021	21,18 °C	-1,92 °C
2022	21,38 °C	-1,75 °C
2023	23,08 °C	-0,50 °C

Nota: Proyecto POWER de la NASA.

Anexo 5

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación Aricota

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1981	21,30 °C	-3,18 °C
1982	19,94 °C	-1,39 °C
1983	22,64 °C	-1,37 °C
1984	19,54 °C	-1,86 °C
1985	20,23 °C	-2,42 °C
1986	20,50 °C	-2,13 °C
1987	21,16 °C	-2,41 °C
1988	20,16 °C	-1,46 °C
1989	19,97 °C	-1,52 °C
1990	21,20 °C	-1,58 °C
1991	21,81 °C	-2,85 °C
1992	21,17 °C	-2,70 °C
1993	20,55 °C	-2,10 °C
1994	20,25 °C	-1,92 °C
1995	21,16 °C	-1,37 °C
1996	20,38 °C	-2,04 °C
1997	21,08 °C	-1,43 °C
1998	22,49 °C	-1,66 °C
1999	20,11 °C	-3,07 °C
2000	20,47 °C	-2,05 °C
2001	21,63 °C	-1,48 °C
2002	20,91 °C	-2,35 °C
2003	22,63 °C	-1,15 °C
2004	20,57 °C	-2,03 °C
2005	20,63 °C	-1,39 °C
2006	20,53 °C	-1,42 °C
2007	21,54 °C	-1,29 °C
2008	21,12 °C	-1,14 °C
2009	21,89 °C	-1,55 °C
2010	22,86 °C	-1,38 °C
2011	21,05 °C	-1,35 °C
2012	20,95 °C	-0,99 °C
2013	21,37 °C	-1,30 °C
2014	22,36 °C	-1,24 °C
2015	21,98 °C	-1,30 °C
2016	22,86 °C	-2,24 °C
2017	21,35 °C	-2,52 °C
2018	22,10 °C	-1,27 °C
2019	22,52 °C	-2,70 °C
2020	21,66 °C	-1,15 °C
2021	21,18 °C	-1,92 °C
2022	21,38 °C	-1,75 °C
2023	23,08 °C	-0,50 °C

Nota: Proyecto POWER de la NASA.

Anexo 6

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación Ilabaya

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1981	25,64 °C	6,48 °C
1982	25,74 °C	7,23 °C
1983	26,36 °C	8,58 °C
1984	25,14 °C	8,01 °C
1985	25,35 °C	6,53 °C
1986	26,05 °C	6,99 °C
1987	26,34 °C	7,07 °C
1988	25,76 °C	7,44 °C
1989	25,50 °C	7,26 °C
1990	26,05 °C	7,33 °C
1991	26,37 °C	7,42 °C
1992	26,95 °C	6,45 °C
1993	25,78 °C	7,83 °C
1994	26,22 °C	7,56 °C
1995	26,14 °C	7,41 °C
1996	25,75 °C	7,05 °C
1997	26,48 °C	8,46 °C
1998	27,46 °C	7,62 °C
1999	25,49 °C	7,33 °C
2000	25,79 °C	7,16 °C
2001	25,74 °C	7,55 °C
2002	26,73 °C	6,59 °C
2003	26,72 °C	7,36 °C
2004	26,62 °C	8,14 °C
2005	26,85 °C	7,29 °C
2006	27,02 °C	7,94 °C
2007	26,49 °C	7,84 °C
2008	26,59 °C	7,23 °C
2009	26,63 °C	6,95 °C
2010	26,90 °C	5,80 °C
2011	25,91 °C	7,87 °C
2012	25,90 °C	8,22 °C
2013	26,80 °C	7,92 °C
2014	26,45 °C	7,36 °C
2015	27,58 °C	7,67 °C
2016	27,44 °C	9,08 °C
2017	26,89 °C	7,64 °C
2018	26,63 °C	8,43 °C
2019	26,90 °C	6,47 °C
2020	27,14 °C	8,05 °C
2021	26,84 °C	7,48 °C
2022	26,38 °C	7,55 °C
2023	26,83 °C	9,05 °C

Nota: Proyecto POWER de la NASA.

Anexo 7

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación Ticapampa

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1981	25,64 °C	6,48 °C
1982	25,74 °C	7,23 °C
1983	26,36 °C	8,58 °C
1984	25,14 °C	8,01 °C
1985	25,35 °C	6,53 °C
1986	26,05 °C	6,99 °C
1987	26,34 °C	7,07 °C
1988	25,76 °C	7,44 °C
1989	25,50 °C	7,26 °C
1990	26,05 °C	7,33 °C
1991	26,37 °C	7,42 °C
1992	26,95 °C	6,45 °C
1993	25,78 °C	7,83 °C
1994	26,22 °C	7,56 °C
1995	26,14 °C	7,41 °C
1996	25,75 °C	7,05 °C
1997	26,48 °C	8,46 °C
1998	27,46 °C	7,62 °C
1999	25,49 °C	7,33 °C
2000	25,79 °C	7,16 °C
2001	25,74 °C	7,55 °C
2002	26,73 °C	6,59 °C
2003	26,72 °C	7,36 °C
2004	26,62 °C	8,14 °C
2005	26,85 °C	7,29 °C
2006	27,02 °C	7,94 °C
2007	26,49 °C	7,84 °C
2008	26,59 °C	7,23 °C
2009	26,63 °C	6,95 °C
2010	26,90 °C	5,80 °C
2011	25,91 °C	7,87 °C
2012	25,90 °C	8,22 °C
2013	26,80 °C	7,92 °C
2014	26,45 °C	7,36 °C
2015	27,58 °C	7,67 °C
2016	27,44 °C	9,08 °C
2017	26,89 °C	7,64 °C
2018	26,63 °C	8,43 °C
2019	26,90 °C	6,47 °C
2020	27,14 °C	8,05 °C
2021	26,84 °C	7,48 °C
2022	26,38 °C	7,55 °C
2023	26,83 °C	9,05 °C

Nota: Proyecto POWER de la NASA.

Anexo 8

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación Ite

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1981	24,04 °C	15,33 °C
1982	24,10 °C	14,04 °C
1983	26,11 °C	15,05 °C
1984	24,02 °C	14,45 °C
1985	24,54 °C	14,07 °C
1986	24,53 °C	13,67 °C
1987	25,37 °C	15,01 °C
1988	24,77 °C	14,05 °C
1989	25,34 °C	14,32 °C
1990	24,77 °C	13,95 °C
1991	24,61 °C	14,41 °C
1992	24,78 °C	13,99 °C
1993	24,93 °C	14,84 °C
1994	24,40 °C	13,90 °C
1995	24,50 °C	14,34 °C
1996	23,92 °C	13,80 °C
1997	25,34 °C	16,19 °C
1998	25,86 °C	13,77 °C
1999	24,08 °C	14,42 °C
2000	23,91 °C	14,04 °C
2001	25,13 °C	13,78 °C
2002	25,02 °C	14,49 °C
2003	24,34 °C	13,76 °C
2004	24,19 °C	13,54 °C
2005	25,05 °C	13,30 °C
2006	25,20 °C	14,58 °C
2007	24,78 °C	12,05 °C
2008	24,62 °C	13,99 °C
2009	24,80 °C	13,91 °C
2010	24,76 °C	13,35 °C
2011	24,86 °C	13,60 °C
2012	25,49 °C	14,65 °C
2013	25,10 °C	14,04 °C
2014	24,71 °C	13,83 °C
2015	24,85 °C	14,40 °C
2016	25,25 °C	14,80 °C
2017	26,24 °C	14,79 °C
2018	24,87 °C	14,22 °C
2019	25,31 °C	14,13 °C
2020	25,69 °C	13,61 °C
2021	24,00 °C	13,96 °C
2022	23,77 °C	13,98 °C
2023	25,02 °C	16,39 °C

Nota: Proyecto POWER de la NASA.

Anexo 9

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación Locumba

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1963	28,70 °C	5,70 °C
1964	29,34 °C	1,20 °C
1965	30,40 °C	3,90 °C
1966	29,66 °C	0,60 °C
1967	29,79 °C	4,20 °C
1968	29,30 °C	7,20 °C
1969	29,53 °C	4,40 °C
1970	29,30 °C	3,00 °C
1971	29,60 °C	0,80 °C
1972	30,34 °C	2,20 °C
1973	30,51 °C	2,60 °C
1974	29,09 °C	2,00 °C
1975	21,26 °C	1,40 °C
1976	29,87 °C	3,40 °C
1977	30,50 °C	3,80 °C
1978	31,14 °C	2,10 °C
1979	30,66 °C	4,00 °C
1980	31,87 °C	5,00 °C
1981	N. R.	N. R.
1982	N. R.	N. R.
1983	33,29 °C	5,50 °C
1984	30,39 °C	4,50 °C
1985	30,01 °C	4,00 °C
1986	30,81 °C	1,50 °C
1987	31,57 °C	6,00 °C

1988	32,71 °C	4,80 °C
1989	32,44 °C	4,80 °C
1990	31,23 °C	7,90 °C
1991	31,07 °C	N. R.
1992	31,86 °C	N. R.
1993	32,57 °C	9,50 °C
1994	32,14 °C	2,00 °C
1995	32,43 °C	2,50 °C
1996	31,43 °C	3,50 °C
1997	31,64 °C	7,00 °C
1998	32,64 °C	4,50 °C
1999	31,57 °C	3,50 °C
2000	31,71 °C	4,00 °C
2001	32,21 °C	2,00 °C
2002	31,79 °C	3,00 °C
2003	31,74 °C	4,20 °C
2004	31,84 °C	3,60 °C
2005	32,20 °C	3,60 °C
2006	32,59 °C	3,20 °C
2007	30,93 °C	5,00 °C
2008	32,19 °C	5,30 °C
2009	31,57 °C	6,00 °C
2010	31,16 °C	6,80 °C
2011	31,00 °C	6,20 °C
2012	31,14 °C	9,50 °C
2013	30,13 °C	4,00 °C
2014	30,04 °C	4,00 °C

Nota: SENAMHI.

Anexo 10

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación Calana

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1963	N. R.	N. R.
1964	26,83 °C	1,80 °C
1965	27,63 °C	3,30 °C
1966	27,41 °C	0,90 °C
1967	26,90 °C	3,00 °C
1968	27,01 °C	1,40 °C
1969	26,77 °C	1,60 °C
1970	26,46 °C	2,20 °C
1971	25,94 °C	0,00 °C
1972	28,03 °C	1,40 °C
1973	28,14 °C	2,60 °C
1974	27,66 °C	2,00 °C
1975	27,09 °C	1,10 °C
1976	26,90 °C	4,00 °C
1977	28,00 °C	3,60 °C
1978	26,77 °C	3,00 °C
1979	26,60 °C	3,40 °C
1980	27,73 °C	4,00 °C
1981	27,99 °C	2,20 °C
1982	27,34 °C	0,50 °C
1983	29,29 °C	5,50 °C
1984	27,29 °C	3,20 °C
1985	27,97 °C	3,00 °C
1986	27,23 °C	1,50 °C
1987	27,94 °C	4,50 °C

1988	27,41 °C	3,00 °C
1989	27,61 °C	4,00 °C
1990	27,66 °C	2,50 °C
1991	28,39 °C	2,00 °C
1992	27,41 °C	4,00 °C
1993	27,94 °C	4,50 °C
1994	27,80 °C	4,20 °C
1995	27,31 °C	4,00 °C
1996	26,76 °C	3,40 °C
1997	27,40 °C	5,50 °C
1998	28,83 °C	5,50 °C
1999	26,91 °C	3,00 °C
2000	27,20 °C	3,50 °C
2001	28,14 °C	3,80 °C
2002	27,46 °C	4,60 °C
2003	27,46 °C	4,00 °C
2004	27,51 °C	2,40 °C
2005	27,09 °C	4,20 °C
2006	28,00 °C	3,80 °C
2007	27,31 °C	3,00 °C
2008	27,51 °C	2,20 °C
2009	27,54 °C	3,80 °C
2010	28,26 °C	3,50 °C
2011	27,11 °C	3,50 °C
2012	28,20 °C	4,00 °C
2013	28,51 °C	4,00 °C
2014	28,54 °C	4,00 °C
2015	28,40 °C	5,00 °C

Nota: SENAMHI.

Anexo 11

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación Cerro Blanco

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1981	23,80 °C	5,28 °C
1982	23,90 °C	5,30 °C
1983	24,98 °C	5,55 °C
1984	23,55 °C	5,61 °C
1985	23,70 °C	4,23 °C
1986	24,79 °C	5,62 °C
1987	24,64 °C	4,23 °C
1988	23,83 °C	4,50 °C
1989	23,52 °C	4,52 °C
1990	25,33 °C	4,22 °C
1991	25,52 °C	4,25 °C
1992	24,88 °C	3,62 °C
1993	23,97 °C	4,35 °C
1994	24,99 °C	5,00 °C
1995	24,24 °C	5,00 °C
1996	23,48 °C	5,70 °C
1997	24,78 °C	6,11 °C
1998	25,43 °C	5,77 °C
1999	23,76 °C	4,71 °C
2000	23,94 °C	4,36 °C
2001	24,31 °C	6,07 °C
2002	24,92 °C	3,94 °C
2003	25,31 °C	5,48 °C
2004	24,91 °C	6,21 °C
2005	24,56 °C	4,75 °C
2006	25,52 °C	5,05 °C
2007	24,76 °C	4,95 °C
2008	24,01 °C	5,64 °C
2009	24,94 °C	5,40 °C
2010	25,24 °C	3,50 °C
2011	24,43 °C	4,13 °C
2012	24,13 °C	5,08 °C
2013	24,31 °C	5,22 °C
2014	25,54 °C	5,64 °C
2015	26,38 °C	5,34 °C
2016	26,29 °C	5,26 °C
2017	25,37 °C	4,86 °C
2018	24,19 °C	6,26 °C
2019	25,70 °C	5,05 °C
2020	25,42 °C	4,76 °C
2021	25,51 °C	4,83 °C
2022	23,87 °C	4,75 °C
2023	25,63 °C	7,25 °C

Nota: Proyecto POWER de la NASA.

Anexo 12

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación Coruca

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1981	25,64 °C	6,48 °C
1982	25,74 °C	7,23 °C
1983	26,36 °C	8,58 °C
1984	25,14 °C	8,01 °C
1985	25,35 °C	6,53 °C
1986	26,05 °C	6,99 °C
1987	26,34 °C	7,07 °C
1988	25,76 °C	7,44 °C
1989	25,50 °C	7,26 °C
1990	26,05 °C	7,33 °C
1991	26,37 °C	7,42 °C
1992	26,95 °C	6,45 °C
1993	25,78 °C	7,83 °C
1994	26,22 °C	7,56 °C
1995	26,14 °C	7,41 °C
1996	25,75 °C	7,05 °C
1997	26,48 °C	8,46 °C
1998	27,46 °C	7,62 °C
1999	25,49 °C	7,33 °C
2000	25,79 °C	7,16 °C
2001	25,74 °C	7,55 °C
2002	26,73 °C	6,59 °C
2003	26,72 °C	7,36 °C
2004	26,62 °C	8,14 °C
2005	26,85 °C	7,29 °C
2006	27,02 °C	7,94 °C
2007	26,49 °C	7,84 °C
2008	26,59 °C	7,23 °C
2009	26,63 °C	6,95 °C
2010	26,90 °C	5,80 °C
2011	25,91 °C	7,87 °C
2012	25,90 °C	8,22 °C
2013	26,80 °C	7,92 °C
2014	26,45 °C	7,36 °C
2015	27,58 °C	7,67 °C
2016	27,44 °C	9,08 °C
2017	26,89 °C	7,64 °C
2018	26,63 °C	8,43 °C
2019	26,90 °C	6,47 °C
2020	27,14 °C	8,05 °C
2021	26,84 °C	7,48 °C
2022	26,38 °C	7,55 °C
2023	26,83 °C	9,05 °C

Nota: Proyecto POWER de la NASA.

Anexo 13

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación La Tranca

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1981	25,64 °C	6,48 °C
1982	25,74 °C	7,23 °C
1983	26,36 °C	8,58 °C
1984	25,14 °C	8,01 °C
1985	25,35 °C	6,53 °C
1986	26,05 °C	6,99 °C
1987	26,34 °C	7,07 °C
1988	25,76 °C	7,44 °C
1989	25,50 °C	7,26 °C
1990	26,05 °C	7,33 °C
1991	26,37 °C	7,42 °C
1992	26,95 °C	6,45 °C
1993	25,78 °C	7,83 °C
1994	26,22 °C	7,56 °C
1995	26,14 °C	7,41 °C
1996	25,75 °C	7,05 °C
1997	26,48 °C	8,46 °C
1998	27,46 °C	7,62 °C
1999	25,49 °C	7,33 °C
2000	25,79 °C	7,16 °C
2001	25,74 °C	7,55 °C
2002	26,73 °C	6,59 °C
2003	26,72 °C	7,36 °C
2004	26,62 °C	8,14 °C
2005	26,85 °C	7,29 °C
2006	27,02 °C	7,94 °C
2007	26,49 °C	7,84 °C
2008	26,59 °C	7,23 °C
2009	26,63 °C	6,95 °C
2010	26,90 °C	5,80 °C
2011	25,91 °C	7,87 °C
2012	25,90 °C	8,22 °C
2013	26,80 °C	7,92 °C
2014	26,45 °C	7,36 °C
2015	27,58 °C	7,67 °C
2016	27,44 °C	9,08 °C
2017	26,89 °C	7,64 °C
2018	26,63 °C	8,43 °C
2019	26,90 °C	6,47 °C
2020	27,14 °C	8,05 °C
2021	26,84 °C	7,48 °C
2022	26,38 °C	7,55 °C
2023	26,83 °C	9,05 °C

Nota: Proyecto POWER de la NASA.

Anexo 14

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación Sama Grande

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1964	28,23 °C	4,20 °C
1965	28,43 °C	7,20 °C
1966	29,97 °C	2,20 °C
1967	28,17 °C	2,60 °C
1968	28,34 °C	5,40 °C
1969	28,80 °C	7,40 °C
1970	30,17 °C	5,00 °C
1971	29,60 °C	5,20 °C
1972	30,00 °C	8,00 °C
1973	30,46 °C	6,20 °C
1974	30,03 °C	6,20 °C
1975	27,91 °C	4,20 °C
1976	28,80 °C	7,00 °C
1977	28,57 °C	7,00 °C
1978	28,69 °C	7,20 °C
1979	28,89 °C	6,80 °C
1980	29,89 °C	7,00 °C
1981	29,37 °C	5,20 °C
1982	30,11 °C	7,20 °C
1983	31,09 °C	10,20 °C
1984	29,37 °C	6,60 °C
1985	29,17 °C	5,40 °C
1986	29,63 °C	4,80 °C
1987	30,34 °C	7,60 °C
1988	29,69 °C	6,00 °C
1989	30,11 °C	7,20 °C

1990	30,83 °C	6,40 °C
1991	29,51 °C	6,20 °C
1992	29,97 °C	6,20 °C
1993	29,83 °C	8,20 °C
1994	29,66 °C	7,20 °C
1995	30,20 °C	5,20 °C
1996	29,31 °C	7,00 °C
1997	30,16 °C	10,00 °C
1998	30,54 °C	6,20 °C
1999	29,34 °C	5,20 °C
2000	30,31 °C	5,40 °C
2001	30,01 °C	5,60 °C
2002	29,44 °C	8,00 °C
2003	29,59 °C	5,60 °C
2004	29,54 °C	7,00 °C
2005	28,87 °C	5,60 °C
2006	30,49 °C	9,20 °C
2007	31,11 °C	8,20 °C
2008	31,03 °C	7,00 °C
2009	29,26 °C	5,20 °C
2010	30,71 °C	5,60 °C
2011	29,67 °C	6,60 °C
2012	30,34 °C	9,00 °C
2013	30,09 °C	6,40 °C
2014	29,37 °C	0,90 °C
2015	30,17 °C	7,80 °C

Nota: SENAMHI.

Anexo 15

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación La Yarada

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1981	26,90 °C	11,31 °C
1982	27,53 °C	11,33 °C
1983	29,49 °C	12,32 °C
1984	26,69 °C	10,43 °C
1985	26,89 °C	11,35 °C
1986	27,32 °C	10,90 °C
1987	28,34 °C	11,97 °C
1988	27,97 °C	10,44 °C
1989	28,29 °C	10,69 °C
1990	27,16 °C	10,34 °C
1991	28,30 °C	11,23 °C
1992	27,44 °C	10,63 °C
1993	28,25 °C	11,27 °C
1994	27,79 °C	10,93 °C
1995	27,77 °C	11,08 °C
1996	27,20 °C	10,15 °C
1997	28,01 °C	13,03 °C
1998	29,01 °C	10,56 °C
1999	26,95 °C	11,15 °C
2000	26,59 °C	10,19 °C
2001	28,72 °C	10,93 °C
2002	28,13 °C	10,73 °C
2003	27,58 °C	10,46 °C
2004	27,06 °C	10,44 °C
2005	28,07 °C	9,64 °C
2006	28,47 °C	11,37 °C
2007	27,59 °C	9,00 °C
2008	28,52 °C	10,70 °C
2009	28,10 °C	10,67 °C
2010	28,21 °C	9,34 °C
2011	28,36 °C	10,23 °C
2012	29,39 °C	11,30 °C
2013	28,67 °C	10,89 °C
2014	28,43 °C	10,28 °C
2015	28,25 °C	11,44 °C
2016	28,85 °C	11,34 °C
2017	29,77 °C	10,90 °C
2018	27,86 °C	11,06 °C
2019	28,28 °C	10,17 °C
2020	28,98 °C	10,19 °C
2021	28,30 °C	10,70 °C
2022	27,20 °C	10,07 °C
2023	28,73 °C	13,28 °C

Nota: Proyecto POWER de la NASA.

Anexo 16

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación Calientes

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1981	23,80 °C	5,28 °C
1982	23,90 °C	5,30 °C
1983	24,98 °C	5,55 °C
1984	23,55 °C	5,61 °C
1985	23,70 °C	4,23 °C
1986	24,79 °C	5,62 °C
1987	24,64 °C	4,23 °C
1988	23,83 °C	4,50 °C
1989	23,52 °C	4,52 °C
1990	25,33 °C	4,22 °C
1991	25,52 °C	4,25 °C
1992	24,88 °C	3,62 °C
1993	23,97 °C	4,35 °C
1994	24,99 °C	5,00 °C
1995	24,24 °C	5,00 °C
1996	23,48 °C	5,70 °C
1997	24,78 °C	6,11 °C
1998	25,43 °C	5,77 °C
1999	23,76 °C	4,71 °C
2000	23,94 °C	4,36 °C
2001	24,31 °C	6,07 °C
2002	24,92 °C	3,94 °C
2003	25,31 °C	5,48 °C
2004	24,91 °C	6,21 °C
2005	24,56 °C	4,75 °C
2006	25,52 °C	5,05 °C
2007	24,76 °C	4,95 °C
2008	24,01 °C	5,64 °C
2009	24,94 °C	5,40 °C
2010	25,24 °C	3,50 °C
2011	24,43 °C	4,13 °C
2012	24,13 °C	5,08 °C
2013	24,31 °C	5,22 °C
2014	25,54 °C	5,64 °C
2015	26,38 °C	5,34 °C
2016	26,29 °C	5,26 °C
2017	25,37 °C	4,86 °C
2018	24,19 °C	6,26 °C
2019	25,70 °C	5,05 °C
2020	25,42 °C	4,76 °C
2021	25,51 °C	4,83 °C
2022	23,87 °C	4,75 °C
2023	25,63 °C	7,25 °C

Nota: Proyecto POWER de la NASA.

Anexo 17

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación Caplina

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1981	21,30 °C	-3,18 °C
1982	19,94 °C	-1,39 °C
1983	22,64 °C	-1,37 °C
1984	19,54 °C	-1,86 °C
1985	20,23 °C	-2,42 °C
1986	20,50 °C	-2,13 °C
1987	21,16 °C	-2,41 °C
1988	20,16 °C	-1,46 °C
1989	19,97 °C	-1,52 °C
1990	21,20 °C	-1,58 °C
1991	21,81 °C	-2,85 °C
1992	21,17 °C	-2,70 °C
1993	20,55 °C	-2,10 °C
1994	20,25 °C	-1,92 °C
1995	21,16 °C	-1,37 °C
1996	20,38 °C	-2,04 °C
1997	21,08 °C	-1,43 °C
1998	22,49 °C	-1,66 °C
1999	20,11 °C	-3,07 °C
2000	20,47 °C	-2,05 °C
2001	21,63 °C	-1,48 °C
2002	20,91 °C	-2,35 °C
2003	22,63 °C	-1,15 °C
2004	20,57 °C	-2,03 °C
2005	20,63 °C	-1,39 °C
2006	20,53 °C	-1,42 °C
2007	21,54 °C	-1,29 °C
2008	21,12 °C	-1,14 °C
2009	21,89 °C	-1,55 °C
2010	22,86 °C	-1,38 °C
2011	21,05 °C	-1,35 °C
2012	20,95 °C	-0,99 °C
2013	21,37 °C	-1,30 °C
2014	22,36 °C	-1,24 °C
2015	21,98 °C	-1,30 °C
2016	22,86 °C	-2,24 °C
2017	21,35 °C	-2,52 °C
2018	22,10 °C	-1,27 °C
2019	22,52 °C	-2,70 °C
2020	21,66 °C	-1,15 °C
2021	21,18 °C	-1,92 °C
2022	21,38 °C	-1,75 °C
2023	23,08 °C	-0,50 °C

Nota: Proyecto POWER de la NASA.

Anexo 18

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación Challata

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1981	23,80 °C	5,28 °C
1982	23,90 °C	5,30 °C
1983	24,98 °C	5,55 °C
1984	23,55 °C	5,61 °C
1985	23,70 °C	4,23 °C
1986	24,79 °C	5,62 °C
1987	24,64 °C	4,23 °C
1988	23,83 °C	4,50 °C
1989	23,52 °C	4,52 °C
1990	25,33 °C	4,22 °C
1991	25,52 °C	4,25 °C
1992	24,88 °C	3,62 °C
1993	23,97 °C	4,35 °C
1994	24,99 °C	5,00 °C
1995	24,24 °C	5,00 °C
1996	23,48 °C	5,70 °C
1997	24,78 °C	6,11 °C
1998	25,43 °C	5,77 °C
1999	23,76 °C	4,71 °C
2000	23,94 °C	4,36 °C
2001	24,31 °C	6,07 °C
2002	24,92 °C	3,94 °C
2003	25,31 °C	5,48 °C
2004	24,91 °C	6,21 °C
2005	24,56 °C	4,75 °C
2006	25,52 °C	5,05 °C
2007	24,76 °C	4,95 °C
2008	24,01 °C	5,64 °C
2009	24,94 °C	5,40 °C
2010	25,24 °C	3,50 °C
2011	24,43 °C	4,13 °C
2012	24,13 °C	5,08 °C
2013	24,31 °C	5,22 °C
2014	25,54 °C	5,64 °C
2015	26,38 °C	5,34 °C
2016	26,29 °C	5,26 °C
2017	25,37 °C	4,86 °C
2018	24,19 °C	6,26 °C
2019	25,70 °C	5,05 °C
2020	25,42 °C	4,76 °C
2021	25,51 °C	4,83 °C
2022	23,87 °C	4,75 °C
2023	25,63 °C	7,25 °C

Nota: Proyecto POWER de la NASA.

Anexo 19

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación Toquela

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1981	21,30 °C	-3,18 °C
1982	19,94 °C	-1,39 °C
1983	22,64 °C	-1,37 °C
1984	19,54 °C	-1,86 °C
1985	20,23 °C	-2,42 °C
1986	20,50 °C	-2,13 °C
1987	21,16 °C	-2,41 °C
1988	20,16 °C	-1,46 °C
1989	19,97 °C	-1,52 °C
1990	21,20 °C	-1,58 °C
1991	21,81 °C	-2,85 °C
1992	21,17 °C	-2,70 °C
1993	20,55 °C	-2,10 °C
1994	20,25 °C	-1,92 °C
1995	21,16 °C	-1,37 °C
1996	20,38 °C	-2,04 °C
1997	21,08 °C	-1,43 °C
1998	22,49 °C	-1,66 °C
1999	20,11 °C	-3,07 °C
2000	20,47 °C	-2,05 °C
2001	21,63 °C	-1,48 °C
2002	20,91 °C	-2,35 °C
2003	22,63 °C	-1,15 °C
2004	20,57 °C	-2,03 °C
2005	20,63 °C	-1,39 °C
2006	20,53 °C	-1,42 °C
2007	21,54 °C	-1,29 °C
2008	21,12 °C	-1,14 °C
2009	21,89 °C	-1,55 °C
2010	22,86 °C	-1,38 °C
2011	21,05 °C	-1,35 °C
2012	20,95 °C	-0,99 °C
2013	21,37 °C	-1,30 °C
2014	22,36 °C	-1,24 °C
2015	21,98 °C	-1,30 °C
2016	22,86 °C	-2,24 °C
2017	21,35 °C	-2,52 °C
2018	22,10 °C	-1,27 °C
2019	22,52 °C	-2,70 °C
2020	21,66 °C	-1,15 °C
2021	21,18 °C	-1,92 °C
2022	21,38 °C	-1,75 °C
2023	23,08 °C	-0,50 °C

Nota: Proyecto POWER de la NASA.

Anexo 20

Temp. máximas y mínimas del aire por año en la estación Bocotoma El Ayro

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1981	19,90 °C	-7,78 °C
1982	19,65 °C	-6,84 °C
1983	21,00 °C	-6,55 °C
1984	16,68 °C	-6,68 °C
1985	18,54 °C	-6,81 °C
1986	18,06 °C	-6,94 °C
1987	20,76 °C	-6,77 °C
1988	19,04 °C	-7,31 °C
1989	19,14 °C	-6,61 °C
1990	19,12 °C	-6,66 °C
1991	20,28 °C	-6,42 °C
1992	20,02 °C	-7,09 °C
1993	19,19 °C	-8,23 °C
1994	18,72 °C	-6,81 °C
1995	20,14 °C	-6,71 °C
1996	19,67 °C	-6,92 °C
1997	20,74 °C	-6,30 °C
1998	21,40 °C	-7,03 °C
1999	19,60 °C	-6,80 °C
2000	19,62 °C	-7,13 °C
2001	20,08 °C	-6,41 °C
2002	19,52 °C	-6,78 °C
2003	20,22 °C	-7,24 °C
2004	20,05 °C	-6,92 °C
2005	19,88 °C	-6,94 °C
2006	19,82 °C	-6,57 °C
2007	19,82 °C	-6,40 °C
2008	20,78 °C	-6,45 °C
2009	19,87 °C	-6,47 °C
2010	19,87 °C	-7,21 °C
2011	20,43 °C	-6,74 °C
2012	20,12 °C	-6,57 °C
2013	19,69 °C	-6,30 °C
2014	21,08 °C	-6,36 °C
2015	21,16 °C	-6,81 °C
2016	20,35 °C	-6,86 °C
2017	20,48 °C	-6,60 °C
2018	19,98 °C	-6,24 °C
2019	20,03 °C	-7,01 °C
2020	20,50 °C	-6,10 °C
2021	19,24 °C	-6,17 °C
2022	20,48 °C	-7,06 °C
2023	21,47 °C	-5,54 °C

Nota: Proyecto POWER de la NASA.

Anexo 21

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación Palca

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
2000	23,81 °C	1,50 °C
2001	21,57 °C	4,10 °C
2002	21,96 °C	2,00 °C
2003	21,29 °C	3,50 °C
2004	20,91 °C	1,10 °C
2005	21,13 °C	1,40 °C
2006	21,00 °C	1,00 °C
2007	21,31 °C	2,40 °C
2008	20,81 °C	1,00 °C
2009	20,80 °C	2,80 °C
2010	21,94 °C	1,00 °C
2011	21,37 °C	1,20 °C
2012	21,91 °C	3,00 °C
2013	21,71 °C	1,20 °C
2014	21,39 °C	3,00 °C

Nota: SENAMHI.

Anexo 22

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación Paucarani

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
2006	16,36 °C	-19,40 °C
2007	16,84 °C	-21,60 °C
2008	18,09 °C	-21,00 °C
2009	18,34 °C	-21,00 °C
2010	18,11 °C	-22,60 °C
2011	18,57 °C	-19,60 °C
2012	16,84 °C	-13,40 °C
2013	16,83 °C	-12,40 °C
2014	17,14 °C	-14,40 °C

Nota: SENAMHI.

Anexo 23

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación Jorge Basadre

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1993	28,61 °C	8,00 °C
1994	29,03 °C	7,00 °C
1995	29,33 °C	5,00 °C
1996	28,74 °C	4,60 °C
1997	29,54 °C	10,90 °C
1998	30,26 °C	6,80 °C
1999	27,84 °C	7,00 °C
2000	28,37 °C	6,90 °C
2001	29,34 °C	7,40 °C
2002	28,89 °C	8,00 °C
2003	29,46 °C	5,80 °C
2004	29,30 °C	6,00 °C
2005	29,06 °C	7,50 °C
2006	30,13 °C	8,00 °C
2007	29,29 °C	5,60 °C
2008	29,47 °C	6,40 °C
2009	29,16 °C	7,50 °C
2010	29,51 °C	5,00 °C
2011	28,91 °C	7,50 °C
2012	30,04 °C	8,50 °C
2013	29,89 °C	7,00 °C
2014	29,66 °C	7,20 °C

Nota: SENAMHI.

Anexo 24

Temp. máximas y mínimas del aire por año en la estación Puente Talapalca

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1981	21,30 °C	-3,18 °C
1982	19,94 °C	-1,39 °C
1983	22,64 °C	-1,37 °C
1984	19,54 °C	-1,86 °C
1985	20,23 °C	-2,42 °C
1986	20,50 °C	-2,13 °C
1987	21,16 °C	-2,41 °C
1988	20,16 °C	-1,46 °C
1989	19,97 °C	-1,52 °C
1990	21,20 °C	-1,58 °C
1991	21,81 °C	-2,85 °C
1992	21,17 °C	-2,70 °C
1993	20,55 °C	-2,10 °C
1994	20,25 °C	-1,92 °C
1995	21,16 °C	-1,37 °C
1996	20,38 °C	-2,04 °C
1997	21,08 °C	-1,43 °C
1998	22,49 °C	-1,66 °C
1999	20,11 °C	-3,07 °C
2000	20,47 °C	-2,05 °C
2001	21,63 °C	-1,48 °C
2002	20,91 °C	-2,35 °C
2003	22,63 °C	-1,15 °C
2004	20,57 °C	-2,03 °C
2005	20,63 °C	-1,39 °C
2006	20,53 °C	-1,42 °C
2007	21,54 °C	-1,29 °C
2008	21,12 °C	-1,14 °C
2009	21,89 °C	-1,55 °C
2010	22,86 °C	-1,38 °C
2011	21,05 °C	-1,35 °C
2012	20,95 °C	-0,99 °C
2013	21,37 °C	-1,30 °C
2014	22,36 °C	-1,24 °C
2015	21,98 °C	-1,30 °C
2016	22,86 °C	-2,24 °C
2017	21,35 °C	-2,52 °C
2018	22,10 °C	-1,27 °C
2019	22,52 °C	-2,70 °C
2020	21,66 °C	-1,15 °C
2021	21,18 °C	-1,92 °C
2022	21,38 °C	-1,75 °C
2023	23,08 °C	-0,50 °C

Nota: Proyecto POWER de la NASA.

Anexo 25

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación Talabaya

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
2004	21,19 °C	-8,10 °C
2005	N. R.	-3,10 °C
2006	N. R.	-2,60 °C
2007	N. R.	-4,30 °C
2008	19,21 °C	-3,30 °C
2009	20,01 °C	-2,90 °C
2010	20,30 °C	-4,30 °C
2011	19,90 °C	-3,50 °C
2012	19,19 °C	-3,00 °C
2013	19,19 °C	-2,40 °C
2014	18,99 °C	-6,20 °C

Nota: SENAMHI.

Anexo 26

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación Ancoaque

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1981	18,02 °C	-8,43 °C
1982	17,59 °C	-8,24 °C
1983	19,78 °C	-6,53 °C
1984	14,87 °C	-6,99 °C
1985	16,75 °C	-8,97 °C
1986	16,56 °C	-7,85 °C
1987	18,65 °C	-7,06 °C
1988	17,16 °C	-7,25 °C
1989	17,42 °C	-6,70 °C
1990	17,46 °C	-6,77 °C
1991	18,55 °C	-7,74 °C
1992	18,56 °C	-7,32 °C
1993	17,39 °C	-7,80 °C
1994	17,17 °C	-6,92 °C
1995	18,52 °C	-8,23 °C
1996	17,82 °C	-8,77 °C
1997	18,62 °C	-8,16 °C
1998	19,90 °C	-7,02 °C
1999	17,37 °C	-6,74 °C
2000	17,75 °C	-6,99 °C
2001	18,93 °C	-6,62 °C
2002	17,55 °C	-7,31 °C
2003	18,47 °C	-7,08 °C
2004	17,96 °C	-7,05 °C
2005	17,71 °C	-6,13 °C
2006	18,18 °C	-6,90 °C
2007	18,08 °C	-6,29 °C
2008	18,57 °C	-6,15 °C
2009	18,13 °C	-6,71 °C
2010	18,77 °C	-7,11 °C
2011	18,56 °C	-6,25 °C
2012	18,35 °C	-6,12 °C
2013	17,89 °C	-6,42 °C
2014	18,75 °C	-6,97 °C
2015	19,24 °C	-6,72 °C
2016	18,74 °C	-6,71 °C
2017	18,80 °C	-6,42 °C
2018	18,14 °C	-6,38 °C
2019	18,27 °C	-7,41 °C
2020	18,08 °C	-6,28 °C
2021	17,53 °C	-6,02 °C
2022	18,42 °C	-6,91 °C
2023	19,15 °C	-6,13 °C

Nota: Proyecto POWER de la NASA.

Anexo 27

Temp. máximas y mínimas del aire por año en la estación Salida Túnel Kovire

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1981	13,77 °C	-8,43 °C
1982	16,95 °C	-8,24 °C
1983	15,50 °C	-6,53 °C
1984	13,87 °C	-6,99 °C
1985	12,93 °C	-8,97 °C
1986	14,44 °C	-7,85 °C
1987	14,28 °C	-7,06 °C
1988	14,01 °C	-7,25 °C
1989	16,29 °C	-6,70 °C
1990	15,06 °C	-6,77 °C
1991	15,21 °C	-7,74 °C
1992	13,55 °C	-7,32 °C
1993	14,78 °C	-7,80 °C
1994	13,12 °C	-6,92 °C
1995	14,28 °C	-8,23 °C
1996	13,19 °C	-8,77 °C
1997	18,08 °C	-8,16 °C
1998	16,99 °C	-7,02 °C
1999	13,86 °C	-6,74 °C
2000	14,47 °C	-6,99 °C
2001	16,10 °C	-6,62 °C
2002	15,20 °C	-7,31 °C
2003	15,16 °C	-7,08 °C
2004	15,36 °C	-7,05 °C
2005	13,70 °C	-6,13 °C
2006	15,75 °C	-6,90 °C
2007	16,37 °C	-6,29 °C
2008	13,62 °C	-6,15 °C
2009	14,40 °C	-6,71 °C
2010	14,10 °C	-7,11 °C
2011	13,76 °C	-6,25 °C
2012	15,27 °C	-6,12 °C
2013	14,30 °C	-6,42 °C
2014	15,14 °C	-6,97 °C
2015	16,10 °C	-6,72 °C
2016	14,18 °C	-6,71 °C
2017	13,90 °C	-6,42 °C
2018	14,95 °C	-6,38 °C
2019	15,74 °C	-7,41 °C
2020	13,53 °C	-6,28 °C
2021	16,28 °C	-6,02 °C
2022	15,65 °C	-6,91 °C
2023	11,16 °C	-6,13 °C

Nota: Proyecto POWER de la NASA.

Anexo 28

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación Vilacota

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1981	18,02 °C	-8,43 °C
1982	17,59 °C	-8,24 °C
1983	19,78 °C	-6,53 °C
1984	14,87 °C	-6,99 °C
1985	16,75 °C	-8,97 °C
1986	16,56 °C	-7,85 °C
1987	18,65 °C	-7,06 °C
1988	17,16 °C	-7,25 °C
1989	17,42 °C	-6,70 °C
1990	17,46 °C	-6,77 °C
1991	18,55 °C	-7,74 °C
1992	18,56 °C	-7,32 °C
1993	17,39 °C	-7,80 °C
1994	17,17 °C	-6,92 °C
1995	18,52 °C	-8,23 °C
1996	17,82 °C	-8,77 °C
1997	18,62 °C	-8,16 °C
1998	19,90 °C	-7,02 °C
1999	17,37 °C	-6,74 °C
2000	17,75 °C	-6,99 °C
2001	18,93 °C	-6,62 °C
2002	17,55 °C	-7,31 °C
2003	18,47 °C	-7,08 °C
2004	17,96 °C	-7,05 °C
2005	17,71 °C	-6,13 °C
2006	18,18 °C	-6,90 °C
2007	18,08 °C	-6,29 °C
2008	18,57 °C	-6,15 °C
2009	18,13 °C	-6,71 °C
2010	18,77 °C	-7,11 °C
2011	18,56 °C	-6,25 °C
2012	18,35 °C	-6,12 °C
2013	17,89 °C	-6,42 °C
2014	18,75 °C	-6,97 °C
2015	19,24 °C	-6,72 °C
2016	18,74 °C	-6,71 °C
2017	18,80 °C	-6,42 °C
2018	18,14 °C	-6,38 °C
2019	18,27 °C	-7,41 °C
2020	18,08 °C	-6,28 °C
2021	17,53 °C	-6,02 °C
2022	18,42 °C	-6,91 °C
2023	19,15 °C	-6,13 °C

Nota: Proyecto POWER de la NASA.

Anexo 29

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación Challapalca

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1981	18,02 °C	-8,43 °C
1982	17,59 °C	-8,24 °C
1983	19,78 °C	-6,53 °C
1984	14,87 °C	-6,99 °C
1985	16,75 °C	-8,97 °C
1986	16,56 °C	-7,85 °C
1987	18,65 °C	-7,06 °C
1988	17,16 °C	-7,25 °C
1989	17,42 °C	-6,70 °C
1990	17,46 °C	-6,77 °C
1991	18,55 °C	-7,74 °C
1992	18,56 °C	-7,32 °C
1993	17,39 °C	-7,80 °C
1994	17,17 °C	-6,92 °C
1995	18,52 °C	-8,23 °C
1996	17,82 °C	-8,77 °C
1997	18,62 °C	-8,16 °C
1998	19,90 °C	-7,02 °C
1999	17,37 °C	-6,74 °C
2000	17,75 °C	-6,99 °C
2001	18,93 °C	-6,62 °C
2002	17,55 °C	-7,31 °C
2003	18,47 °C	-7,08 °C
2004	17,96 °C	-7,05 °C
2005	17,71 °C	-6,13 °C
2006	18,18 °C	-6,90 °C
2007	18,08 °C	-6,29 °C
2008	18,57 °C	-6,15 °C
2009	18,13 °C	-6,71 °C
2010	18,77 °C	-7,11 °C
2011	18,56 °C	-6,25 °C
2012	18,35 °C	-6,12 °C
2013	17,89 °C	-6,42 °C
2014	18,75 °C	-6,97 °C
2015	19,24 °C	-6,72 °C
2016	18,74 °C	-6,71 °C
2017	18,80 °C	-6,42 °C
2018	18,14 °C	-6,38 °C
2019	18,27 °C	-7,41 °C
2020	18,08 °C	-6,28 °C
2021	17,53 °C	-6,02 °C
2022	18,42 °C	-6,91 °C
2023	19,15 °C	-6,13 °C

Nota: Proyecto POWER de la NASA.

Anexo 30

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación Chuapalca

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1997	20,50 °C	-19,70 °C
1998	20,93 °C	-25,00 °C
1999	20,67 °C	-28,00 °C
2000	19,53 °C	-25,00 °C
2001	20,84 °C	-22,00 °C
2002	20,16 °C	-24,50 °C
2003	21,87 °C	-28,20 °C
2004	21,63 °C	-23,50 °C
2005	20,01 °C	-21,50 °C
2006	20,10 °C	-21,00 °C
2007	20,47 °C	-22,00 °C
2008	20,90 °C	-23,50 °C
2009	20,17 °C	-23,50 °C
2010	20,57 °C	-21,80 °C
2011	21,24 °C	-21,40 °C
2012	20,43 °C	-23,00 °C
2013	20,94 °C	-22,00 °C
2014	20,20 °C	-14,00 °C

Nota: Proyecto POWER de la NASA.

Anexo 31

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación La Frontera

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1981	19,90 °C	-7,78 °C
1982	19,65 °C	-6,84 °C
1983	21,00 °C	-6,55 °C
1984	16,68 °C	-6,68 °C
1985	18,54 °C	-6,81 °C
1986	18,06 °C	-6,94 °C
1987	20,76 °C	-6,77 °C
1988	19,04 °C	-7,31 °C
1989	19,14 °C	-6,61 °C
1990	19,12 °C	-6,66 °C
1991	20,28 °C	-6,42 °C
1992	20,02 °C	-7,09 °C
1993	19,19 °C	-8,23 °C
1994	18,72 °C	-6,81 °C
1995	20,14 °C	-6,71 °C
1996	19,67 °C	-6,92 °C
1997	20,74 °C	-6,30 °C
1998	21,40 °C	-7,03 °C
1999	19,60 °C	-6,80 °C
2000	19,62 °C	-7,13 °C
2001	20,08 °C	-6,41 °C
2002	19,52 °C	-6,78 °C
2003	20,22 °C	-7,24 °C
2004	20,05 °C	-6,92 °C
2005	19,88 °C	-6,94 °C
2006	19,82 °C	-6,57 °C
2007	19,82 °C	-6,40 °C
2008	20,78 °C	-6,45 °C
2009	19,87 °C	-6,47 °C
2010	19,87 °C	-7,21 °C
2011	20,43 °C	-6,74 °C
2012	20,12 °C	-6,57 °C
2013	19,69 °C	-6,30 °C
2014	21,08 °C	-6,36 °C
2015	21,16 °C	-6,81 °C
2016	20,35 °C	-6,86 °C
2017	20,48 °C	-6,60 °C
2018	19,98 °C	-6,24 °C
2019	20,03 °C	-7,01 °C
2020	20,50 °C	-6,10 °C
2021	19,24 °C	-6,17 °C
2022	20,48 °C	-7,06 °C
2023	21,47 °C	-5,54 °C

Nota: Proyecto POWER de la NASA.

Anexo 32

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación Sitajara

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1981	21,30 °C	-3,18 °C
1982	19,94 °C	-1,39 °C
1983	22,64 °C	-1,37 °C
1984	19,54 °C	-1,86 °C
1985	20,23 °C	-2,42 °C
1986	20,50 °C	-2,13 °C
1987	21,16 °C	-2,41 °C
1988	20,16 °C	-1,46 °C
1989	19,97 °C	-1,52 °C
1990	21,20 °C	-1,58 °C
1991	21,81 °C	-2,85 °C
1992	21,17 °C	-2,70 °C
1993	20,55 °C	-2,10 °C
1994	20,25 °C	-1,92 °C
1995	21,16 °C	-1,37 °C
1996	20,38 °C	-2,04 °C
1997	21,08 °C	-1,43 °C
1998	22,49 °C	-1,66 °C
1999	20,11 °C	-3,07 °C
2000	20,47 °C	-2,05 °C
2001	21,63 °C	-1,48 °C
2002	20,91 °C	-2,35 °C
2003	22,63 °C	-1,15 °C
2004	20,57 °C	-2,03 °C
2005	20,63 °C	-1,39 °C
2006	20,53 °C	-1,42 °C
2007	21,54 °C	-1,29 °C
2008	21,12 °C	-1,14 °C
2009	21,89 °C	-1,55 °C
2010	22,86 °C	-1,38 °C
2011	21,05 °C	-1,35 °C
2012	20,95 °C	-0,99 °C
2013	21,37 °C	-1,30 °C
2014	22,36 °C	-1,24 °C
2015	21,98 °C	-1,30 °C
2016	22,86 °C	-2,24 °C
2017	21,35 °C	-2,52 °C
2018	22,10 °C	-1,27 °C
2019	22,52 °C	-2,70 °C
2020	21,66 °C	-1,15 °C
2021	21,18 °C	-1,92 °C
2022	21,38 °C	-1,75 °C
2023	23,08 °C	-0,50 °C

Nota: Proyecto POWER de la NASA.

Anexo 33

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación Susapaya

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
2000	18,80 °C	-4,80 °C
2001	18,60 °C	-8,20 °C
2002	19,83 °C	-3,00 °C
2003	21,11 °C	-4,20 °C
2004	20,36 °C	-5,10 °C
2005	20,54 °C	-6,20 °C
2006	19,44 °C	0,00 °C
2007	19,36 °C	0,00 °C
2008	19,44 °C	-2,20 °C
2009	20,51 °C	-2,30 °C
2010	21,49 °C	-2,00 °C
2011	20,04 °C	-5,00 °C
2012	19,96 °C	-5,00 °C
2013	20,20 °C	-4,00 °C
2014	19,84 °C	-2,00 °C

Nota: SENAMHI.

Anexo 34

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación Tarata

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1963	21,51 °C	2,30 °C
1964	21,29 °C	1,20 °C
1965	18,97 °C	3,80 °C
1966	21,39 °C	-0,20 °C
1967	21,06 °C	0,00 °C
1968	20,93 °C	-0,50 °C
1969	22,43 °C	1,20 °C
1970	21,90 °C	0,80 °C
1971	20,89 °C	0,20 °C
1972	22,20 °C	0,40 °C
1973	21,70 °C	1,20 °C
1974	20,27 °C	1,40 °C
1975	19,71 °C	-1,00 °C
1976	20,29 °C	0,00 °C
1977	21,61 °C	-2,20 °C
1978	20,93 °C	0,20 °C
1979	N. R.	N. R.
1980	20,54 °C	-0,20 °C
1981	22,34 °C	-0,40 °C
1982	20,83 °C	3,60 °C
1983	21,26 °C	-0,80 °C
1984	20,83 °C	0,10 °C
1985	21,69 °C	0,20 °C
1986	20,81 °C	1,80 °C
1987	24,43 °C	4,20 °C
1988	22,74 °C	3,20 °C
1989	21,36 °C	1,60 °C
1990	22,37 °C	2,40 °C
1991	22,46 °C	0,20 °C

1992	22,03 °C	0,00 °C
1993	22,17 °C	1,20 °C
1994	22,43 °C	1,00 °C
1995	22,44 °C	1,10 °C
1996	22,67 °C	1,20 °C
1997	23,09 °C	-4,20 °C
1998	23,33 °C	-1,20 °C
1999	22,07 °C	-2,20 °C
2000	21,86 °C	-2,80 °C
2001	21,91 °C	-3,20 °C
2002	23,10 °C	-3,80 °C
2003	23,24 °C	-2,60 °C
2004	23,67 °C	-2,60 °C
2005	23,36 °C	-3,20 °C
2006	23,47 °C	-4,00 °C
2007	23,70 °C	-3,00 °C
2008	23,40 °C	-4,80 °C
2009	23,17 °C	-4,80 °C
2010	23,86 °C	-6,60 °C
2011	23,40 °C	-3,20 °C
2012	23,39 °C	-4,10 °C
2013	23,21 °C	-3,00 °C
2014	22,71 °C	-2,80 °C

Nota: SENAMHI.

Anexo 35

Temp. máximas y mínimas del aire por año en la estación Represa Jarumas

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1981	21,30 °C	-3,18 °C
1982	19,94 °C	-1,39 °C
1983	22,64 °C	-1,37 °C
1984	19,54 °C	-1,86 °C
1985	20,23 °C	-2,42 °C
1986	20,50 °C	-2,13 °C
1987	21,16 °C	-2,41 °C
1988	20,16 °C	-1,46 °C
1989	19,97 °C	-1,52 °C
1990	21,20 °C	-1,58 °C
1991	21,81 °C	-2,85 °C
1992	21,17 °C	-2,70 °C
1993	20,55 °C	-2,10 °C
1994	20,25 °C	-1,92 °C
1995	21,16 °C	-1,37 °C
1996	20,38 °C	-2,04 °C
1997	21,08 °C	-1,43 °C
1998	22,49 °C	-1,66 °C
1999	20,11 °C	-3,07 °C
2000	20,47 °C	-2,05 °C
2001	21,63 °C	-1,48 °C
2002	20,91 °C	-2,35 °C
2003	22,63 °C	-1,15 °C
2004	20,57 °C	-2,03 °C
2005	20,63 °C	-1,39 °C
2006	20,53 °C	-1,42 °C
2007	21,54 °C	-1,29 °C
2008	21,12 °C	-1,14 °C
2009	21,89 °C	-1,55 °C
2010	22,86 °C	-1,38 °C
2011	21,05 °C	-1,35 °C
2012	20,95 °C	-0,99 °C
2013	21,37 °C	-1,30 °C
2014	22,36 °C	-1,24 °C
2015	21,98 °C	-1,30 °C
2016	22,86 °C	-2,24 °C
2017	21,35 °C	-2,52 °C
2018	22,10 °C	-1,27 °C
2019	22,52 °C	-2,70 °C
2020	21,66 °C	-1,15 °C
2021	21,18 °C	-1,92 °C
2022	21,38 °C	-1,75 °C
2023	23,08 °C	-0,50 °C

Nota: Proyecto POWER de la NASA.

Anexo 36

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación Pizacoma

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1963	20,46 °C	N. R.
1964	18,86 °C	-12,00 °C
1965	21,43 °C	-12,40 °C
1966	22,34 °C	-17,60 °C
1967	20,14 °C	-12,40 °C
1968	19,43 °C	-12,80 °C
1969	22,09 °C	-13,60 °C
1970	20,31 °C	-14,20 °C
1971	19,37 °C	-13,80 °C
1972	20,91 °C	-13,80 °C
1973	21,34 °C	-15,80 °C
1974	20,60 °C	-16,40 °C
1975	19,77 °C	-13,40 °C
1976	20,83 °C	-13,40 °C
1977	20,60 °C	-12,60 °C
1978	21,11 °C	-14,80 °C
1979	20,63 °C	-14,20 °C
1980	19,69 °C	-4,80 °C
1981	N. R.	N. R.
1982	N. R.	N. R.
1983	N. R.	N. R.
1984	N. R.	N. R.
1985	N. R.	N. R.
1986	N. R.	N. R.
1987	N. R.	N. R.
1988	N. R.	N. R.
1989	N. R.	N. R.
1990	N. R.	N. R.
1991	20,29 °C	-3,00 °C

1992	20,23 °C	-10,20 °C
1993	20,69 °C	-12,00 °C
1994	21,66 °C	-15,00 °C
1995	21,11 °C	-14,60 °C
1996	20,63 °C	-16,20 °C
1997	22,57 °C	-15,60 °C
1998	22,09 °C	-14,80 °C
1999	21,31 °C	-12,20 °C
2000	21,43 °C	-16,80 °C
2001	22,49 °C	-12,00 °C
2002	19,91 °C	-12,60 °C
2003	22,57 °C	-12,60 °C
2004	21,77 °C	-11,40 °C
2005	21,40 °C	-11,40 °C
2006	21,51 °C	-13,80 °C
2007	21,17 °C	-14,40 °C
2008	20,26 °C	-14,60 °C
2009	21,89 °C	-13,60 °C
2010	21,60 °C	-14,20 °C
2011	21,40 °C	-12,40 °C
2012	20,83 °C	-13,80 °C
2013	20,83 °C	-11,80 °C
2014	19,46 °C	-11,80 °C

Nota: SENAMHI.

Anexo 37

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación Capazo

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
2001	18,11 °C	-21,00 °C
2002	17,73 °C	-16,00 °C
2003	19,14 °C	-20,00 °C
2004	18,71 °C	-20,00 °C
2005	17,36 °C	-17,50 °C
2006	17,71 °C	-17,00 °C
2007	17,57 °C	-18,50 °C
2008	19,24 °C	-18,00 °C
2009	17,66 °C	-40,20 °C
2010	18,81 °C	-19,60 °C
2011	18,23 °C	-19,00 °C
2012	16,06 °C	-18,80 °C
2013	17,60 °C	-18,00 °C
2014	15,73 °C	-17,00 °C

Nota: SENAMHI.

Anexo 38

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación Mazo Cruz

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1963	21,80 °C	-20,80 °C
1964	19,71 °C	-23,60 °C
1965	21,14 °C	-24,00 °C
1966	20,04 °C	-25,20 °C
1967	20,13 °C	-21,40 °C
1968	18,70 °C	-21,80 °C
1969	21,40 °C	-23,80 °C
1970	20,76 °C	-23,60 °C
1971	19,76 °C	-24,50 °C
1972	19,94 °C	-23,80 °C
1973	19,86 °C	-22,70 °C
1974	19,24 °C	-24,30 °C
1975	20,17 °C	-22,70 °C
1976	19,09 °C	-21,60 °C
1977	20,60 °C	-22,50 °C
1978	18,63 °C	-20,50 °C
1979	19,34 °C	-23,20 °C
1980	19,63 °C	-23,30 °C
1981	20,11 °C	-20,40 °C
1982	20,40 °C	-20,80 °C
1983	21,57 °C	-21,40 °C
1984	18,66 °C	-18,40 °C
1985	18,89 °C	-17,60 °C
1986	19,14 °C	-20,00 °C
1987	20,26 °C	-20,80 °C
1988	23,00 °C	-18,60 °C
1989	20,40 °C	-18,40 °C
1990	18,30 °C	-21,00 °C
1991	18,86 °C	-19,00 °C

1992	19,37 °C	-25,00 °C
1993	16,86 °C	-21,00 °C
1994	18,71 °C	-24,00 °C
1995	19,60 °C	-21,00 °C
1996	19,03 °C	-21,00 °C
1997	20,20 °C	-23,00 °C
1998	19,89 °C	-23,20 °C
1999	22,37 °C	-22,00 °C
2000	21,97 °C	-21,00 °C
2001	21,11 °C	-20,20 °C
2002	20,66 °C	-18,40 °C
2003	22,43 °C	-20,60 °C
2004	21,83 °C	-20,20 °C
2005	19,80 °C	-22,40 °C
2006	21,63 °C	-20,20 °C
2007	21,11 °C	-20,80 °C
2008	22,46 °C	-21,80 °C
2009	21,49 °C	-23,00 °C
2010	22,46 °C	-22,80 °C
2011	22,37 °C	-19,20 °C
2012	21,74 °C	-20,20 °C
2013	21,63 °C	-20,20 °C
2014	22,37 °C	-20,60 °C
2015	20,49 °C	-20,60 °C

Nota: SENAMHI.

Anexo 39

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación Ilo

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1968	27,31 °C	14,00 °C
1969	25,84 °C	17,00 °C
1970	28,94 °C	11,20 °C
1971	27,29 °C	11,00 °C
1993	N. R.	10,20 °C
1994	30,83 °C	7,60 °C
1995	31,24 °C	5,00 °C
1996	30,46 °C	4,40 °C
1997	30,43 °C	8,80 °C
1998	33,71 °C	7,80 °C
1999	31,69 °C	7,80 °C
2000	31,26 °C	7,00 °C
2001	32,74 °C	7,40 °C
2002	31,71 °C	9,00 °C
2003	31,91 °C	7,20 °C
2004	32,26 °C	7,60 °C
2005	31,90 °C	8,10 °C
2006	32,49 °C	8,20 °C
2007	32,49 °C	6,20 °C
2008	32,93 °C	6,00 °C
2009	32,09 °C	8,00 °C
2010	31,87 °C	5,50 °C
2011	31,94 °C	6,80 °C
2012	33,61 °C	11,00 °C
2013	33,01 °C	9,80 °C
2014	32,10 °C	10,00 °C

Nota: SENAMHI.

Anexo 40

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación Punta Coles

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1954	25,94 °C	10,70 °C
1955	28,16 °C	10,10 °C
1956	25,67 °C	11,20 °C
1957	25,94 °C	13,90 °C
1958	25,79 °C	14,80 °C
1959	25,94 °C	12,20 °C
1960	N. R.	N. R.
1961	N. R.	N. R.
1962	N. R.	N. R.
1963	N. R.	N. R.
1964	N. R.	N. R.
1965	25,09 °C	13,20 °C
1966	25,56 °C	11,40 °C
1967	26,24 °C	11,40 °C
1968	25,41 °C	12,40 °C
1969	25,69 °C	12,30 °C
1970	25,27 °C	12,10 °C
1971	24,19 °C	11,40 °C
1972	26,69 °C	13,30 °C
1973	27,76 °C	12,00 °C
1974	26,06 °C	12,20 °C
1975	25,63 °C	11,80 °C
1976	27,01 °C	12,50 °C
1977	26,80 °C	12,80 °C
1978	25,74 °C	12,60 °C
1979	25,14 °C	12,60 °C
1980	25,34 °C	12,80 °C
1981	26,86 °C	11,20 °C
1982	27,34 °C	12,20 °C

1983	29,49 °C	13,80 °C
1984	26,49 °C	12,40 °C
1985	26,11 °C	11,20 °C
1986	26,17 °C	12,40 °C
1987	28,06 °C	13,00 °C
1988	26,20 °C	10,80 °C
1989	26,43 °C	12,40 °C
1990	26,37 °C	12,00 °C
1991	26,09 °C	10,20 °C
1992	27,29 °C	10,60 °C
1993	26,77 °C	13,80 °C
1994	26,06 °C	12,20 °C
1995	26,60 °C	11,60 °C
1996	25,06 °C	11,40 °C
1997	27,49 °C	12,40 °C
1998	29,29 °C	11,20 °C
1999	26,17 °C	12,80 °C
2000	26,23 °C	11,80 °C
2001	27,20 °C	12,00 °C
2002	26,34 °C	12,00 °C
2003	27,17 °C	12,00 °C
2004	26,34 °C	12,00 °C
2005	27,09 °C	12,40 °C
2006	27,00 °C	13,00 °C
2007	26,63 °C	10,20 °C
2008	26,51 °C	11,20 °C
2009	26,03 °C	12,60 °C
2010	26,91 °C	10,00 °C
2011	25,91 °C	8,50 °C
2012	27,40 °C	11,20 °C
2013	27,34 °C	12,00 °C
2014	25,83 °C	12,40 °C

Nota: SENAMHI.

Anexo 41

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación Pampa Umalso

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1981	19,36 °C	-4,70 °C
1982	17,64 °C	-4,22 °C
1983	20,10 °C	-3,88 °C
1984	17,22 °C	-4,10 °C
1985	18,06 °C	-4,32 °C
1986	18,28 °C	-4,38 °C
1987	19,55 °C	-4,62 °C
1988	18,37 °C	-3,77 °C
1989	17,88 °C	-4,02 °C
1990	18,58 °C	-3,95 °C
1991	20,04 °C	-3,85 °C
1992	19,38 °C	-4,53 °C
1993	18,29 °C	-3,91 °C
1994	18,08 °C	-3,99 °C
1995	19,02 °C	-4,20 °C
1996	18,21 °C	-4,44 °C
1997	19,30 °C	-3,60 °C
1998	20,13 °C	-4,30 °C
1999	17,47 °C	-4,30 °C
2000	18,36 °C	-4,71 °C
2001	19,95 °C	-3,57 °C
2002	18,44 °C	-4,31 °C
2003	20,25 °C	-4,22 °C
2004	18,38 °C	-4,10 °C
2005	18,68 °C	-3,35 °C
2006	18,34 °C	-3,53 °C
2007	19,52 °C	-3,77 °C
2008	19,24 °C	-3,72 °C
2009	19,74 °C	-3,77 °C
2010	20,39 °C	-4,27 °C
2011	19,19 °C	-3,78 °C
2012	19,20 °C	-3,74 °C
2013	18,93 °C	-3,85 °C
2014	20,54 °C	-3,44 °C
2015	19,65 °C	-4,31 °C
2016	20,18 °C	-3,74 °C
2017	19,12 °C	-3,73 °C
2018	20,22 °C	-3,52 °C
2019	20,48 °C	-3,77 °C
2020	19,86 °C	-3,41 °C
2021	19,14 °C	-3,19 °C
2022	19,28 °C	-3,78 °C
2023	20,35 °C	-2,98 °C

Nota: Proyecto POWER de la NASA.

Anexo 42

Temp. máximas y mínimas del aire por año en la estación Quinistaquillas

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
2002	32,07 °C	8,00 °C
2003	32,14 °C	8,50 °C
2004	32,36 °C	7,50 °C
2005	31,41 °C	7,40 °C
2006	32,63 °C	7,20 °C
2007	32,41 °C	7,80 °C
2008	33,54 °C	7,00 °C
2009	33,70 °C	7,20 °C
2010	33,27 °C	6,00 °C
2011	32,96 °C	6,50 °C
2012	32,37 °C	7,00 °C
2013	32,93 °C	7,40 °C
2014	31,57 °C	6,50 °C

Nota: SENAMHI.

Anexo 43

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación Moquegua

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1931	31,46 °C	2,00 °C
1932	32,17 °C	4,50 °C
1933	31,50 °C	6,00 °C
1934	31,13 °C	3,00 °C
1935	30,39 °C	1,30 °C
1936	28,79 °C	2,00 °C
1937	29,14 °C	1,50 °C
1938	28,66 °C	3,20 °C
1939	28,47 °C	4,00 °C
1940	30,07 °C	1,00 °C
1941	31,30 °C	0,50 °C
1942	30,61 °C	1,50 °C
1943	N. R.	N. R.
1944	29,43 °C	1,00 °C
1945	30,21 °C	2,00 °C
1946	30,64 °C	2,00 °C
1947	31,86 °C	2,50 °C
1948	30,86 °C	3,50 °C
1949	28,43 °C	10,00 °C
1950	N. R.	N. R.
1951	32,00 °C	1,00 °C
1952	31,79 °C	1,00 °C
1953	31,43 °C	1,00 °C
1954	N. R.	N. R.
1955	32,00 °C	2,00 °C
1956	29,51 °C	3,90 °C
1957	N. R.	N. R.
1958	N. R.	N. R.
1959	N. R.	N. R.
1960	N. R.	N. R.
1961	N. R.	N. R.
1962	N. R.	N. R.
1963	N. R.	N. R.
1964	N. R.	N. R.
1965	28,34 °C	2,50 °C
1966	28,96 °C	3,00 °C
1967	28,27 °C	2,00 °C
1968	27,43 °C	3,40 °C
1969	28,46 °C	3,80 °C
1970	28,77 °C	3,40 °C
1971	28,91 °C	5,00 °C
1972	28,26 °C	3,40 °C
1973	26,87 °C	1,00 °C

1974	27,90 °C	1,50 °C
1975	28,26 °C	3,00 °C
1976	28,43 °C	3,80 °C
1977	27,81 °C	3,20 °C
1978	28,06 °C	3,10 °C
1979	29,00 °C	4,80 °C
1980	28,84 °C	6,10 °C
1981	30,37 °C	4,40 °C
1982	29,43 °C	6,20 °C
1983	29,60 °C	4,80 °C
1984	28,33 °C	6,00 °C
1985	28,64 °C	2,60 °C
1986	29,31 °C	5,40 °C
1987	29,21 °C	4,00 °C
1988	28,73 °C	4,50 °C
1989	28,41 °C	4,40 °C
1990	28,89 °C	5,20 °C
1991	28,91 °C	3,00 °C
1992	N. R.	4,00 °C
1993	N. R.	5,20 °C
1994	29,37 °C	6,20 °C
1995	28,89 °C	5,00 °C
1996	28,66 °C	5,60 °C
1997	29,86 °C	6,20 °C
1998	29,61 °C	4,80 °C
1999	28,14 °C	2,60 °C
2000	29,14 °C	0,80 °C
2001	29,40 °C	5,40 °C
2002	29,17 °C	4,10 °C
2003	29,31 °C	4,80 °C
2004	29,00 °C	4,60 °C
2005	29,40 °C	2,70 °C
2006	29,51 °C	5,00 °C
2007	28,96 °C	4,00 °C
2008	28,67 °C	5,20 °C
2009	29,74 °C	5,00 °C
2010	29,04 °C	2,60 °C
2011	29,13 °C	3,30 °C
2012	30,03 °C	2,80 °C
2013	30,11 °C	5,00 °C
2014	28,59 °C	3,70 °C

Nota: SENAMHI.

Anexo 44

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación Tumulaca

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1981	19,36 °C	-4,70 °C
1982	17,64 °C	-4,22 °C
1983	20,10 °C	-3,88 °C
1984	17,22 °C	-4,10 °C
1985	18,06 °C	-4,32 °C
1986	18,28 °C	-4,38 °C
1987	19,55 °C	-4,62 °C
1988	18,37 °C	-3,77 °C
1989	17,88 °C	-4,02 °C
1990	18,58 °C	-3,95 °C
1991	20,04 °C	-3,85 °C
1992	19,38 °C	-4,53 °C
1993	18,29 °C	-3,91 °C
1994	18,08 °C	-3,99 °C
1995	19,02 °C	-4,20 °C
1996	18,21 °C	-4,44 °C
1997	19,30 °C	-3,60 °C
1998	20,13 °C	-4,30 °C
1999	17,47 °C	-4,30 °C
2000	18,36 °C	-4,71 °C
2001	19,95 °C	-3,57 °C
2002	18,44 °C	-4,31 °C
2003	20,25 °C	-4,22 °C
2004	18,38 °C	-4,10 °C
2005	18,68 °C	-3,35 °C
2006	18,34 °C	-3,53 °C
2007	19,52 °C	-3,77 °C
2008	19,24 °C	-3,72 °C
2009	19,74 °C	-3,77 °C
2010	20,39 °C	-4,27 °C
2011	19,19 °C	-3,78 °C
2012	19,20 °C	-3,74 °C
2013	18,93 °C	-3,85 °C
2014	20,54 °C	-3,44 °C
2015	19,65 °C	-4,31 °C
2016	20,18 °C	-3,74 °C
2017	19,12 °C	-3,73 °C
2018	20,22 °C	-3,52 °C
2019	20,48 °C	-3,77 °C
2020	19,86 °C	-3,41 °C
2021	19,14 °C	-3,19 °C
2022	19,28 °C	-3,78 °C
2023	20,35 °C	-2,98 °C

Nota: Proyecto POWER de la NASA.

Anexo 45

Temperaturas máximas y mínimas del aire por año en la estación Calacoa

Año	Máxima temperatura promedio	Temperatura más fría
1981	19,74 °C	-5,65 °C
1982	19,91 °C	-5,31 °C
1983	22,31 °C	-4,54 °C
1984	16,93 °C	-5,62 °C
1985	19,29 °C	-5,35 °C
1986	18,60 °C	-5,34 °C
1987	21,12 °C	-6,62 °C
1988	19,69 °C	-6,02 °C
1989	19,77 °C	-4,95 °C
1990	19,85 °C	-5,24 °C
1991	21,14 °C	-5,79 °C
1992	21,07 °C	-5,85 °C
1993	19,21 °C	-5,66 °C
1994	19,23 °C	-5,35 °C
1995	20,54 °C	-5,02 °C
1996	19,73 °C	-6,12 °C
1997	21,13 °C	-4,89 °C
1998	21,93 °C	-5,35 °C
1999	19,84 °C	-5,06 °C
2000	20,25 °C	-5,29 °C
2001	20,80 °C	-4,77 °C
2002	19,75 °C	-6,31 °C
2003	20,76 °C	-5,44 °C
2004	20,29 °C	-5,01 °C
2005	19,91 °C	-5,56 °C
2006	20,08 °C	-6,28 °C
2007	20,72 °C	-4,43 °C
2008	20,89 °C	-4,97 °C
2009	20,24 °C	-4,73 °C
2010	20,33 °C	-5,82 °C
2011	20,46 °C	-5,48 °C
2012	20,84 °C	-5,87 °C
2013	19,86 °C	-4,52 °C
2014	20,56 °C	-5,13 °C
2015	21,51 °C	-6,17 °C
2016	20,79 °C	-5,71 °C
2017	21,09 °C	-4,81 °C
2018	20,12 °C	-5,06 °C
2019	20,37 °C	-5,42 °C
2020	20,75 °C	-5,52 °C
2021	19,26 °C	-5,85 °C
2022	21,29 °C	-4,88 °C
2023	21,07 °C	-4,39 °C

Fuente: Proyecto POWER de la NASA.

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE
<i>Problema general</i>	<i>Objetivo general</i>	<i>Hipótesis general</i>	<i>Variable independiente</i>
¿Cuál es la relación que existe entre la zonificación de acuerdo a las condiciones climáticas y el Grado de desempeño del ligante asfáltico, según la metodología SUPERPAVE, en la región de Tacna – Perú?	Determinar la relación que existe entre la zonificación de acuerdo a las condiciones climáticas y el Grado de desempeño del ligante asfáltico, según la metodología SUPERPAVE, la región de Tacna – Perú.	Existe una relación significativa entre la zonificación de acuerdo a las condiciones climáticas y el Grado de desempeño del ligante asfáltico, según la metodología SUPERPAVE, en la región de Tacna – Perú.	zonificación de acuerdo a las condiciones climáticas: <ul style="list-style-type: none"> - Condiciones climáticas altas - Condiciones climáticas bajas
<i>Problema específico</i>	<i>Objetivo específico</i>	<i>Hipótesis específica</i>	<i>Variable dependiente</i>
<ol style="list-style-type: none"> 1. ¿Cuál es la relación que existe entre la zonificación de acuerdo a las condiciones climáticas altas y el Grado de desempeño del ligante asfáltico, según la metodología SUPERPAVE, en la región de Tacna – Perú? 2. ¿Cuál es la relación que existe entre la zonificación de acuerdo a las condiciones climáticas bajas y el Grado de desempeño del ligante asfáltico, según la metodología SUPERPAVE, en la región de Tacna – Perú? 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Determinar la relación que existe entre la zonificación de acuerdo a las condiciones climáticas altas y el Grado de desempeño del ligante asfáltico, según la metodología SUPERPAVE, de las carpetas asfálticas del pavimento flexible en la región de Tacna – Perú. 2. Determinar la relación que existe entre la zonificación de acuerdo a las condiciones climáticas bajas y el Grado de desempeño del ligante asfáltico, según la metodología SUPERPAVE en la región de Tacna – Perú. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Existe una relación significativa entre la zonificación de acuerdo a las condiciones climáticas altas y el Grado de desempeño del ligante asfáltico, según la metodología SUPERPAVE, en la región de Tacna – Perú. 2. Existe una relación significativa entre la zonificación de acuerdo a las condiciones climáticas bajas y el Grado de desempeño del ligante asfáltico, según la metodología SUPERPAVE en la región de Tacna – Perú. 	Grado de desempeño.