



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

**Título**

“Variación en las temperaturas superficiales e internas de  
Carpetas flexibles en pavimentos expuestas a climas extremos.”

**Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil**

**Autor:**

Quinabanda Amangandi, Michael Alexander  
Rea Pilamunga, Mario Fernando

**Tutor:**

Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza MsC

**Riobamba, Ecuador. 2023**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA

Nosotros, **Michael Alexander Quinabanda Amangandi**, con cédula de ciudadanía **025000690-5**, y **Mario Fernando Rea Pilamunga**, con cedula de ciudadanía **020238366-7** autores del trabajo de investigación titulado: **“VARIACIONES EN LAS TEMPERATURAS SUPERFICIALES E INTERNAS DE CARPETAS FLEXIBLES EN PAVIMENTOS EXPUESTOS A CLIMAS EXTREMOS”**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 19 de octubre 2023.



Michael Alexander Quinabanda Amangandi

C.I: 025000690-5



Mario Fernando Rea Pilamunga

C.I: 020238366-7

## DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Ing. **Hernán Vladimir Pazmiño Chiliza**. MsC, catedrático adscrito a la Facultad de ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: “**VARIACIONES EN LAS TEMPERATURAS SUPERFICIALES E INTERNAS DE CARPETAS FLEXIBLES EN PAVIMENTOS EXPUESTOS A CLIMAS EXTREMOS**”, bajo la autoría de **Michael Alexander Quinabanda Amangandi** y **Mario Fernando Rea Pilamunga**; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 19 días del mes de octubre del 2023.



Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiliza, MsC

C.I: 0603123464

## CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “**VARIACION EN LAS TEMPERATURAS SUPERFICIALES E INTERNAS DE CARPETAS FLEXIBLES EN PAVIMENTOS EXPUESTOS A CLIMAS EXTREMOS**” por **Michael Alexander Quinabanda Amangandi**, con cédula de identidad número **025000690-5** y **Mario Fernando Rea Pilamunga**, con cédula de identidad número **020238366-7**, bajo la tutoría de **Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluzza Msc**; certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 30 de noviembre del 2023.

Ing. Jorge Eugenio Núñez Vivar, Mgs  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO**



-----  
Firma

Ing. Ángel Edmundo Paredes García, Mgs.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



-----  
Firma

Ing. Víctor Renee Velásquez Benavides, Mgs.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



-----  
Firma



Dirección  
Académica  
VICERRECTORADO ACADÉMICO

en movimiento




SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD

UNACH-RGF-01-04-08.15  
VERSIÓN 01: 06-09-2021

## CERTIFICACIÓN

Que, **Quinabanda Amangandi Michael Alexander** con CC: **025000690-5** y **Rea Pilamunga Mario Fernando** con CC:**020238366-7**, estudiantes de la Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de **Ingeniería**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "Variación en las temperaturas superficiales e internas de Carpetas flexibles en pavimentos expuestas a climas extremos.", cumple con el 4 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio URKUND, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 19 octubre de 2023



Ing. Vladimir Pazmiño Chilaiza MSc  
TUTOR(A)

## **DEDICATORIA**

Esta tesis está dedicada a:

A Dios quien ha sido mi guía, fortaleza y su mano de fidelidad y amor han estado conmigo hasta el día de hoy.

A mis padres Angel y Bertha quienes han hecho que todo esto sea posible, con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mis hermanos Mishelle y Angelo por su apoyo incondicional, durante todo este proceso, quiénes han estado apoyándome toda mi vida por estar conmigo en todo momento gracias.

A toda mi familia y amigos/as que con sus consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañaron en este procesos y metas.

*Quinabanda Amangandi Michael Alexander*

Esta tesis está dedicada:

A Dios, por haberme dado salud y vida, y por haberme permitido alcanzar este momento tan especial de mi formación profesional.

A mis padres José y María, por ser la persona que me acompañó en todo mi trayecto estudiantil y de vida y que me ha sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, madre como no dedicarle mis logros si a usted le debo lo que soy, si ha sido quien siempre me apoyado incondicionalmente en cada meta y en cada sueño que me he planteado, es usted mi motivo y razón para no desmayar y seguir adelante incluso en los momentos difíciles.

A mis hermanos, Wilson, Manuel, Miguel, Luis, Elena(+), William, Elsa, Carlos y Rosa porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos. A mi familia en general, porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

A mi novia, Shirley Yumiceba por siempre estar a mi lado, por demostrarme cada día su gran amor, por animarme semestre tras semestre, por acompañarme durante todo este proceso y por nunca dudar de que lo lograría y finalmente a todas mis amigas/os, en especial a una amiga: Ingrid Yumiceba por apoyarme cuando más lo necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por brindarme su amor incondicional cada día, mil gracias, siempre la llevare en mi corazón.

*Rea Pilamunga Mario Fernando*

## AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios, quien con su sabiduría y bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes.

Mi profundo agradecimiento a toda mi familia que siempre estuvo ahí especialmente a mis padres, Angel y Bertha, gracias por el esfuerzo, dedicación, consejos e infinidad de cosas que han hecho por mí en lo largo de este proceso, a mis hermanos Mishelle y Angelo por todas las veces que me brindaron la ayuda.

A mis amigos Javier, Jurguen, Mario, Omar, Fernanda, Kelly, entre muchas otras personas con quienes compartí en las aulas, estuvieron en todos los momentos de esta etapa universitaria, gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad más que nada hicieron que esta etapa sea inolvidable, también una eterna gratitud a Francisco, Luis, Adrián y Aldahir que estuvieron siempre ahí en todos los momentos bueno y malos con sus consejos. Sin duda, este logro también lleva un poco de todos. Gracias por ser parte de este camino.

A la Universidad Nacional de Chimborazo, y a todas las personas que lo conforman, por su atención, servicio y conocimientos que me ayudaron a formarme, y a cada Ingeniero Docente por las enseñanzas que me brindaron en este proceso.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Ing. Vladimir Pazmiño, principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

“Gracias por siempre”

*Quinabanda Amangandi Michael Alexander*



Agradezco a Dios por cada pequeño detalle, por el momento que estuve realizando la tesis, por protegerme durante todo mi camino, por permitir despertar no solo vivo, sino también con salud, fuerza y determinación para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida, y valor para culminar esta etapa de mi vida, a medida que avanzaba en mi vida, cada experiencia y momento, se convirtieron en oportunidades de aprendizaje y crecimiento personal.

A mi padre José Rea, por ser mi ejemplo para seguir adelante en el convivir diario y por inculcarme valores que de una u otra forma me han servido en la vida, gracias por eso y por muchos más, siempre lo he tenido presente en mi vida y sé que está orgulloso de la persona en cual me he convertido.

A mi madre María Pilamunga quien adoro desde lo más profundo de mi corazón, muchas gracias mami por su esfuerzo al sacarme adelante, por sus consejos, sus palabras de aliento, sus desvelos, su paciencia, su apoyo, su amor y por nunca haberme dejado solo, por demostrarme que a pesar de las adversidades de la vida se puede salir adelante, es mi mayor bendición y mi ejemplo por seguir.

A mis hermanos por apoyarme en cada decisión que tomo, y por estar a mi lado en cada momento hoy, mañana y siempre, que con sus consejos me ha ayudado afrontar los retos que se han presentado a lo largo de mi vida y también agradezco a mi hermana que no se encuentra físicamente, pero si en la memoria de todos nosotros, gracias por todo lo que diste por mí, lamento no haber tenido el tiempo para retribuir todo lo bueno que me diste.

A mi familia quienes han sido mi pilar fundamental para seguir adelante y cumplir todas mis metas, especialmente a Elsa Rea, Rosa Rea, quienes siempre confiaron en mí y jamás me dejaron solo y también agradezco por ofrecirme su hombro para desahogarme y por ser cómplices en tantas travesuras. Sobre todo, gracias por permitirme formar parte de sus vidas.

A mi novia Shirley Yumiceba, quiero dedicarle estas palabras de agradecimiento y de amor, por ser mi compañera fiel y mi mejor amiga en este largo proceso de investigación y redacción de mi tesis. Gracias por estar a mi lado en los momentos de cansancio, por escucharme y darme consejos sabios, por ser mi motivación y mi inspiración, y por amarme tal como soy. Este logro es también tuyo, porque sin tu amor, paciencia y dedicación, nada de esto hubiera sido posible. Gracias por hacerme sentir especial y por compartir conmigo tantos momentos de alegría y aprendizaje. Te amo con todo mi ser.

A mis mejores amigas/os: Ingri Yumiceba, Kelly Cortez, Jurguen Jacome y Javier Latacunga, que han sido como mis hermanos, quienes me han demostrado que la amistad no solo es estar en los buenos momentos sino también en los malos, muchas gracias por todo lo compartido, por su ayuda y por apoyarme en todas mis locuras. Creo que todos hemos aprendido y aprendemos continuamente de todos y de nosotros mismos, tanto profesional como personalmente, en especial quiero agradecer a mi compañero de tesis Michael Quinabanda, por aguantar mis cambios de humor y a todos, por apoyarnos y ayudarnos tanto, para terminar nuestra tesis. Gracias por su amistad, de verdad no pude haber tenido mejores amigas/os que ustedes.

A mi tutor Ing. Mg Vladimir Pazmiño Chiluzza quien ante cualquier duda estuvo dispuesto a impartir su conocimiento para poder realizar el presente proyecto.

A todos los docentes que han formado parte de mi trayectoria universitaria, pues gracias a ellos hoy me encuentro aquí, con los conocimientos necesarios para seguir adelante. Si ustedes no estuvieran presentes, los conceptos perderían su significado y se convertirían en simples palabras. Ya sabemos que las palabras son efímeras y se desvanecen al viento.

A la Universidad Nacional de Chimborazo, a la Facultad de Ingeniería Civil, donde adquirí valiosos conocimientos que me ayudaron a realizar este proyecto, también ha sido exigente conmigo, pero al mismo tiempo me ha brindado la oportunidad de alcanzar mi anhelado título. Deseo expresar mi gratitud a cada uno de los directivos por su arduo trabajo y su eficiente gestión. Sin su dedicación, no se habría logrado establecer las bases ni crear las condiciones necesarias para el aprendizaje de conocimientos.

A todas las personas que saben que son importantes para mí, pero tal vez olvide mencionar, gracias por la aportación que han tenido en mi vida.

*Rea Pilamunga Mario Fernando*

## ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

CAPÍTULO I. INTRODUCCION.....	21
Planteamiento del Problema.....	23
Justificación.....	24
Objetivos .....	24
Objetivo General .....	24
Objetivos Específicos .....	25
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	26
Clima de Ecuador .....	26
Temperatura .....	27
Temperatura de asfalto .....	28
Reología del Asfalto.....	30
Efecto de temperatura en el asfalto.....	31
Agrietamiento por temperatura.....	32
Dilatación Térmica.....	33
Contracción térmica .....	34
Fatiga Térmica.....	35
Asfalto.....	36

Desempeño de mezclas asfálticas.....	38
Temperatura LTPP pavimentos.....	41
Humedad .....	42
Pavimentos .....	43
Pavimento Flexible.....	44
Pavimento Rígidos .....	45
CAPÍTULO III. METODOLOGIA.....	47
Esquema de metodología aplicada .....	47
Enfoque de Investigación .....	47
Enfoque cuantitativo.....	47
Tipo de Investigación .....	47
De campo.....	47
Bibliográfica.....	48
Diseño de Investigación .....	48
Exploratoria.....	48
Explicativa.....	48
Nivel de Investigación.....	48
Aplicativa .....	48
Variables.....	49
Variables Independientes .....	49
Variables Dependientes .....	49
Técnicas de recolección de datos .....	49
Población de estudio y tamaño de muestra.....	49

Método de análisis y procesamiento de datos.....	50
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	51
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	72
CONCLUSIONES.....	72
RECOMENDACIONES .....	74
BIBLIOGRAFÍA.....	75
ANEXOS.....	79

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Especificaciones del ligante por el grado de desempeño.....	40
Tabla 2: Altitudes máximas en malla vial .....	53
Tabla 3: Altitudes Mínimas en malla vial .....	53
Tabla 4: Temperaturas máximas y mínimas promedio – Históricos NASA POWER DATA-Zonas Altas ..	57
Tabla 5: Temperaturas máximas y mínimas promedio – Datos Puntuales – Zonas Bajas .....	57
Tabla 6: Temperaturas máxima y mínima promedio – Históricos NASA POWER DATA– Zonas Bajas ...	58
Tabla 7: Temperaturas máximas y mínima promedio – Datos Puntuales – Zonas Altas .....	58
Tabla 8: Zonas Bajas – Desviación Estándar-Datos de Campo Puntuales .....	59
Tabla 9: Zonas Altas – Desviación Estándar-Datos de Campos Puntuales .....	59
Tabla 10: Zonas Altas – Desviación Estándar – Datos Históricos NASA POWER DATA.....	60
Tabla 11: Zonas Bajas – Desviación Estándar – Datos Históricos NASA POWER DATA .....	60
Tabla 12: Temperaturas máximas y mínimas del aire con una confiabilidad del 50% de la Provincia de Chimborazo – Zonas Altas – Datos de Campo Puntuales .....	62
Tabla 13: Temperaturas máximas y mínimas del aire con una confiabilidad del 50% de la Provincia de Chimborazo – Zonas Bajas – Datos de Campo Puntuales.....	62
Tabla 14: Temperaturas máximas y mínimas del aire con una confiabilidad del 50% de la Provincia de Chimborazo – Zonas Altas – Datos Históricos NASA POWER DATA .....	63
Tabla 15: Temperaturas máximas y mínimas del aire con una confiabilidad del 50% de la Provincia de Chimborazo – Zonas Bajas – Datos Históricos NASA POWER DATA.....	63
Tabla 16: Temperaturas máximas y mínimas del aire con una confiabilidad del 98% de la Provincia de Chimborazo – Zonas Altas – Datos de Campo.....	64
Tabla 17: Temperaturas máximas y mínimas del aire con una confiabilidad del 98% de la Provincia de Chimborazo – Zonas Bajas – Datos De campo .....	64
Tabla 18: Temperaturas máximas y mínimas del aire con una confiabilidad del 98% de la Provincia de Chimborazo – Zonas Altas – Datos Históricos NASA POWER DATA .....	65
Tabla 19: Temperaturas máximas y mínimas del aire con una confiabilidad del 98% de la Provincia de Chimborazo – Zonas Bajas – Datos Históricos NASA POWER DATA.....	65

Tabla 20: Tabla resumen de Temperaturas máximas y mínimas de la Capa de Rodadura - Zonas Altas – Datos de Campo .....	66
Tabla 21: Tabla resumen de Temperaturas máximas y mínimas de la Capa de Rodadura - Zonas Altas – Datos Históricos NASA POWER DATA.....	67
Tabla 22: Tabla resumen de Temperaturas máximas y mínimas de la Capa de Rodadura - Zonas Bajas – Datos de Campo .....	67
Tabla 23: Tabla resumen de Temperaturas máximas y mínimas de la Capa de Rodadura - Zonas Bajas – Datos Históricos NASA POWER DATA.....	68
Tabla 24: Tabla resumen de Grados de Desempeño Zonas Altas – Datos de Campo – Datos Históricos NASA POWER DATA .....	68
Tabla 25: Tabla resumen de Grados de Desempeño Zonas Bajas – Datos de Campo – Datos Históricos NASA POWER DATA .....	69



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.-Rangos de temperatura media anual registrados en el Ecuador .....	27
Figura 2.-Variación anual y diaria de la temperatura registradas en el Ecuador .....	28
Figura 3.-Balance de energía en la superficie del pavimento .....	30
Figura 4.-Expansión y contracción en pavimentos.....	35
Figura 5.-Fatiga Térmica en Pavimentos.....	36
Figura 6.-Pavimento .....	43
Figura 7.-Estructura típica de un pavimento asfaltico .....	45
Figura 8.-Estructura Típica de un Pavimento Rígido .....	46
Figura 9.-Esquema de la metodología aplicada.....	47
Figura 10.- Datos Históricos de Temperatura de Chimborazo (2002-2022) - NASA .....	51
Figura 11.- Zonificación Provincia de Chimborazo .....	52
Figura 12.- Código QR – Zonificación Provincia de Chimborazo .....	52
Figura 13.-Temperaturas altas en malla vial – Zona Bajas-Campo.....	54
Figura 14.- Temperaturas mínimas en malla vial – Zonas Bajas-NASA POWER.....	54
Figura 15.- Temperatura máxima en malla vial – Zonas Altas-NASA POWER .....	55
Figura 16.- Temperatura mínimas en malla vial – Zonas Altas-Campo.....	55
Figura 17.- Nivel Confianza.....	61
Figura 19.- Mapa de Grado de Desempeño (PG) .....	71
Figura 18.- Código QR – mapa de desempeño PG.....	71

## TABLA DE ABREVIATURAS

LTPP	“Long Term Pavement performance” o “Comportamiento a Largo Plazo del Pavimento”
SUPERPAVE	“Superior Performing Asphalt Pavements” o “Pavimentos Asfálticos de Alto Rendimiento”
AASHTO	“American Association of State Highway and Transportation Officials” o “Asociación Americana de funcionarios de Carreteras Estatales y de Transporte”
NASA POWER	“Prediction of Worldwide Energy Resource” o “Predicción de Recursos Energéticos a Nivel Mundial”  Proporciona datos y herramientas con la energía solar y otras variables climáticas a nivel global.
PG	“Performance Grade” o “Grado de Rendimiento” para el ligante asfáltico

## RESUMEN

En el Ecuador el diseño del pavimento y la selección de los ligantes asfálticos se realizan bajo condiciones que no consideran la temperatura real de la zona. En esta investigación para dar una solución al problema se tomó datos en campo e in situ de la capa de rodadura del pavimento en zonas estratégicas de la Provincia de Chimborazo, adicionalmente se complementó esta información con la plataforma digital NASA POWER, de la cual se obtuvo una base de datos climáticas en función del registro de temperatura máxima y mínima de un período de 20 años correspondientes al ciclo 2002-2022, se realizó un estudio de los requisitos normativos nacionales e internacionales, con la aplicación de la metodología SUPERPAVE y el algoritmo LTPP utilizado por la AASHTO para determinación de temperaturas, se definen parámetros para obtener el grado de desempeño PG requerido, lo que contribuye a una selección óptima de ligantes asfálticos.

En resumen, esta investigación presenta los resultados adquiridos de temperatura, en un mapa de nivel de rendimiento PG, que se desarrolló utilizando factores estadísticos de confiabilidad basados en el modelo matemático, por consiguiente también se consideró las características climáticas de cada malla vial zonificada de la provincia de Chimborazo, realizando este proceso se determinó el grado de desempeño más adecuado para cada uno y así poder seleccionar un ligante asfáltico que garantice un rendimiento óptimo del pavimento debido a las gradientes de temperaturas que se dan en nuestra zona.

**Palabras claves:** LTPP, pavimento, Grado de Desempeño PG, SUPERPAVE, Temperatura, AASHTO, NASA POWER.

## Abstract

In Ecuador, pavement design and asphalt binder selection are carried out under conditions that do not consider the actual temperature of the area. This research collected field and in situ data from the pavement-wearing course in strategic areas of Chimborazo Province. Additionally, this information was complemented with the NASA POWER digital platform, from which a climate database was obtained based on the maximum and minimum temperature records over 20 years corresponding to the 2002-2022 cycle. A study of national and international regulatory requirements was conducted, applying the SUPERPAVE methodology and the LTPP algorithm used by AASHTO for temperature determination. Parameters were defined to obtain the required Performance Grade (PG), contributing to an optimal selection of asphalt binders. In summary, this research presents the acquired temperature results on a Performance Grade (PG) level map, which was developed using statistical reliability factors based on a mathematical model. Additionally, the climatic characteristics of each zoned road network in Chimborazo Province were considered. Through this process, the most suitable performance grade was determined for each road section, enabling the selection of an asphalt binder that ensures optimal pavement performance considering the temperature gradients in our area.

**Keywords:** LTPP, Pavement, Performance Grade (PG), SUPERPAVE, Temperature, AASHTO, NASA POWER.



Reviewed by:  
Lic. Jenny Freire Rivera  
**ENGLISH PROFESSOR**  
C.C. 0604235036

## CAPÍTULO I. INTRODUCCION

Durante los últimos años se han realizado investigaciones a nivel mundial, con el fin de estudiar el comportamiento que tienen los asfaltos a diferentes cambios de temperatura ya que estos afectan a las mezclas asfálticas debido a diferentes factores, siendo los más importantes la resistencia a la deformación permanente a altas temperaturas y el resquebrajamiento o fisuración a bajas temperaturas.

Los asfaltos convencionales ya utilizados en la construcción de las vías tienen propiedades y características que en la actualidad pueden llegar a ser insuficientes para satisfacer las necesidades de uso, debido principalmente a los cambios climáticos y la variación de la temperatura ambiente, por esta razón es indispensable plantear una alternativa de análisis y evaluación para solucionar los problemas futuros relacionados al desempeño de las vías frente al cambio climático de forma sencillas.

Ecuador posee un clima andino y tropical que está en función de la posición geográfica que comprueba la presencia de las estaciones climáticas lluviosa y seca, durante todo el año varía de forma desigual la temperatura.

La temperatura es considerada uno de los factores que inciden directamente en el comportamiento de los pavimentos, modificando su rigidez debido a las propiedades del material que constituye las carpetas asfálticas, a medida que se aumenta la temperatura disminuyen su rigidez y cuando ésta disminuye se incrementa su rigidez.

Estos cambios significativos de temperatura se dan dentro de la misma región o de una misma localidad debido a que el clima de cada una de las provincias del Ecuador está en constante variación y esto provoca que los materiales que componen la capa de rodadura del

pavimento tengan afectaciones por esta razón se buscan levantar información que ayude a mejorar los diseños de los asfaltos y su comportamiento a diferentes temperaturas.

En este proyecto de investigación se realizó una representación gráfica las temperaturas en los diferentes pisos climáticos de la provincia de Chimborazo que inciden en un porcentaje considerable de carreteras construidas de carpeta asfáltico. El litoral de la provincia se sitúa en una altitud que varía de 300 hasta 1900 m.s.n.m. aproximadamente, y está ubicada en el subtrópico, por lo que su clima tiene una temperatura promedio de 20 °C, de igual manera la reserva nacional de Chimborazo varía su altitud desde los 3800 a 6310 m.s.n.m., que presenta un clima frío andino con temperaturas frías registradas de alrededor -20° a 10° C. Lo que indica que existe variaciones extremas en las condiciones climáticas de este sector causando un deterioro de manera progresiva en las mezclas asfálticas de las carreteras ya implementadas. (Ambiente, 2022)

Actualmente, las principales características del pavimento son proporcionar una superficie de rodadura cómoda y segura para el tránsito de vehículos, soportando y distribuyendo las cargas que se apliquen en él, sin que se creen deformaciones permanentes garantizando que la calidad y durabilidad del pavimento sea igual o superior a la diseñada inicialmente.

## **Planteamiento del Problema**

En la situación o estado actual de los pavimentos flexibles ubicadas en la red vial de la zona 3 pertenecientes a la provincia del Chimborazo, es muy frecuente encontrar carreteras con fatiga, esto se debe principalmente a las condiciones de carga y al clima extremo, ya sea muy frío afectando así, a la carpeta asfáltica de la carretera, en el que su desempeño y vida útil tienden a deteriorarse prematuramente.

El invierno vuelve a ser la mayor amenaza del asfalto, donde existen dos tipos de agrietamientos térmicos: agrietamiento por temperaturas extremadamente bajas se producen en rangos menores a  $-7^{\circ}\text{C}$  y agrietamiento por fatiga térmica sucederán de  $-7^{\circ}\text{C}$  a  $21^{\circ}\text{C}$ .

Por otro lado, durante el verano hay menos lluvias y brilla más el sol, lo que ocasiona que el pavimento asfáltico se deteriore lentamente y se produce el ahuellamiento, dado que las temperaturas altas aumentan el componente plástico de deformación de la mezcla asfáltica, genera cambios estructurales remanentes. Esporádicamente las roderas se pueden producir en forma parcial en dos o tres estaciones de verano consecutivos.

En los últimos años, el cambio climático ha sido un factor que influye en el mantenimiento de las carreteras. Por eso, la ciencia y la ingeniería se enfrentan a un nuevo reto: crear nuevos métodos de construcción adaptables a la situación climatológica actual.

## **Justificación**

En el Ecuador, el método de diseño de pavimentos flexibles vigente requiere considerar las variaciones de temperaturas que se presentan en cada región geográfica (Costa, Sierra). En nuestro país se presentan diferentes zonas climáticas (rango de temperaturas) por lo que es importante realizar un análisis de comportamientos del pavimento flexible expuestas a climas extremos.

En este proyecto de investigación se realizó un estudio sobre el comportamiento de las temperaturas en las capas de rodadura con mezclas asfáltica a cambios climáticos en el litoral y andino, el presente trabajo se enfocó en un estudio más profundo y amplio analizando el comportamiento de las mezclas asfálticas tomando datos en campo / in situ de la variación de temperatura.

Desde el punto de vista técnico a nivel local no hay información disponible que detalle de manera minuciosa el comportamiento de las carpetas asfáltica a climas extremos por esta razón se ha visto la oportunidad de buscar alternativas complementarias al diseño para pavimentos flexibles que permitan una mejor aproximación a las condiciones reales a las que están sujetas el pavimento en la zona 3 de la red vial pertenecientes a la provincia del Chimborazo y poder conseguir un diseño más fiable.

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

- Determinar la variación de temperatura que experimentan los pavimentos flexibles en las zonas altas y bajas de la red vial de la zona 3 usando muestreo no probabilístico



### ***Objetivos Específicos***

- Zonificar la red vial en la Provincia de Chimborazo en función de la altitud y temperatura.
- Determinar la temperatura ambiente, superficial e interna de los puntos críticos de la red zonificada.
- Establecer los rangos y ciclos de temperatura para seleccionar el asfalto más adecuado al proyecto.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### Clima de Ecuador

El clima de Ecuador debido a su ubicación presenta una variedad de climas. En el que se pueden identificar cuatro regiones principales: la región costera, con un clima cálido y húmedo durante todo el año; la región montañosa de la Sierra o Andina, donde los pisos climáticos varían con la altitud, desde las tierras bajas subtropicales hasta las tierras altas frías del páramo, donde los picos más altos están cubiertos de nieve todo el año; en la Amazonía o la región Oriental, la selva tropical tiene un clima cálido y húmedo típico; el clima de las Islas Galápagos se ve afectado por las corrientes oceánicas, mostrando una estación seca y cálida y una estación húmeda y fresca. Esta diversidad climática hace del Ecuador un país único donde se puede experimentar una variedad de condiciones climáticas. (WordPress.com, 2020)

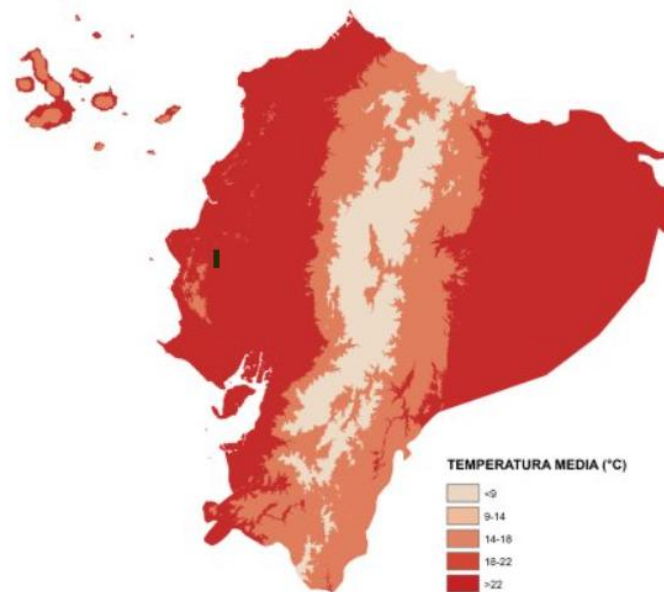
La Provincia de Chimborazo el que pertenece a la región andina y zona central del Ecuador, se caracteriza por ostentar una topografía montañosa y zonas subtropicales, produciendo varios microclimas con características específicas.

El clima subtropical se encuentra en la zona occidental de la provincia, cerca de las costas. Este clima se caracteriza por temperaturas cálidas y durante todo el año en donde las temperaturas promedio oscilan entre los 18°C y 25°C.

El clima montañoso del que la mayor parte de la provincia pertenece, a medida que aumenta la altitud, las temperaturas disminuyen. En las partes bajas de las montañas, el clima es templado montañoso con temperaturas medias entre 10°C y 18°C. Las temperaturas pueden descender por debajo de los 0°C a medida que se asciende a mayores altitudes, especialmente en las regiones altas de Chimborazo.

Estos climas repercuten en las actividades de la región ya que comprenden a las actividades prevaletentes en la provincia el que es importante para desarrollar estrategias de adaptación y mitigación de los efectos del cambio climático en la región.

**Figura 1.-**Rangos de temperatura media anual registrados en el Ecuador



Fuente: (PUCE, 2022)

## Temperatura

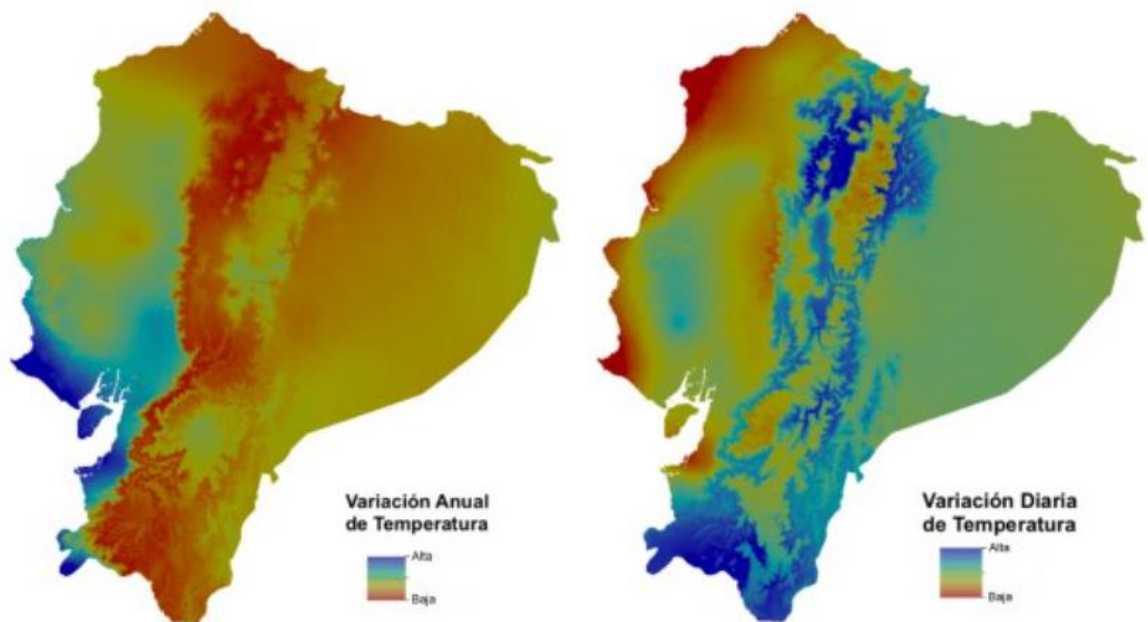
El Ecuador atraviesa la línea ecuatorial, lo que significa que recibe la radiación solar directa durante todo el año, la topografía y la altitud juega un papel importante ya que es diversa e incluye una variedad de regiones como la costa, la región amazónica, la sierra y las regiones montañosas.

La altitud es fundamental en la modulación de la temperatura ya que a medida que asciende en altitud, disminuye la temperatura el mismo que contribuye a la gama de temperaturas el cual es muy extensa puesto que, desde la cima de los volcanes hasta el litoral y la llanura amazónica, las medias van de 0 a más de 26 °C. En la región andina, la temperatura esta por lo

general estrechamente ligada a la altura. Entre los 1.500 y los 3.000 m.s.n.m., los valores promedio varían entre 8 y 20°C, lo que corresponde a valores máximos absolutos entre 22 y 30°C y valores mínimos absolutos de 5 a - 4°C.

En la región oriental, la zona litoral y las islas Galápagos, la media anual se establece hacia los 24 a 25°C con extremos que apenas superan los 38 °C y que a su vez descienden a menos de 13°C.

**Figura 2.-**Variación anual y diaria de la temperatura registradas en el Ecuador



Fuente: (PUCE, 2022)

### **Temperatura de asfalto**

La temperatura es un factor importante en las propiedades y el rendimiento del asfalto la que significa dos cosas principales: la temperatura a la que se fabrica e instala el asfalto, y la temperatura ambiente a la que se expone el asfalto durante su vida útil.

La temperatura ambiente y la temperatura del asfalto líquido durante la producción son los factores determinantes para lograr una buena compactación y adherencia entre los elementos

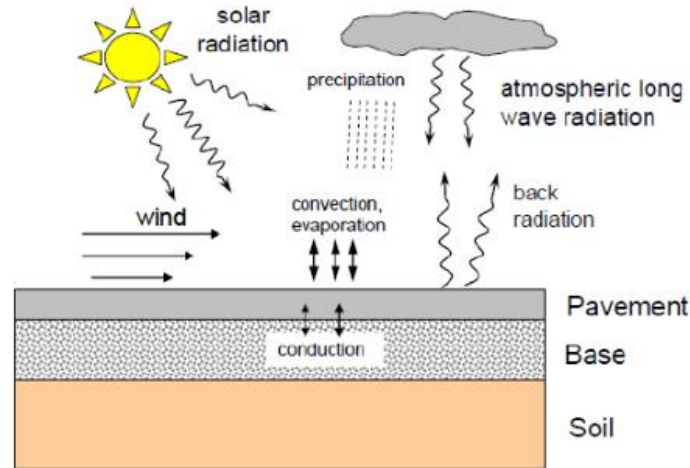
del pavimento. Si la temperatura es baja, el asfalto puede enfriarse y endurecerse antes de lograr una compactación adecuada. Por otro lado, si la temperatura es demasiado alta, el asfalto puede volverse demasiado fluido, lo que dificulta su manejo y puede afectar negativamente su resistencia y durabilidad.(Salazar & Loria, 2013)

En cuanto a la temperatura ambiente durante la vida útil del asfalto, es importante destacar que las fluctuaciones de temperatura tienen un impacto significativo en el comportamiento del pavimento. Las variaciones de temperatura provocan expansiones y contracciones térmicas en el asfalto, lo que genera tensiones internas y puede conducir a la formación de fisuras y grietas en el pavimento. Esto es especialmente relevante en regiones con cambios estacionales de temperatura, donde los pavimentos están expuestos a ciclos repetidos de calentamiento y enfriamiento.

La temperatura también influye en la resistencia del asfalto a la deformación permanente, conocida como fluencia o deformación por carga repetida. A altas temperaturas, el asfalto tiende a ablandarse y volverse más susceptible a la deformación bajo cargas repetidas, lo que puede resultar en huellas de ruedas y deformaciones permanentes en la superficie del pavimento.

Para mitigar los efectos negativos de la temperatura en el asfalto, se implementan diversas estrategias. Durante la fabricación y colocación, se controla la temperatura del asfalto para asegurar una viscosidad adecuada y facilitar una buena compactación. Se utilizan aditivos modificadores de asfalto para mejorar la resistencia a la deformación a altas temperaturas y la resistencia al agrietamiento a bajas temperaturas. Además, se aplican técnicas de diseño de mezclas asfálticas que consideran la influencia de la temperatura en las propiedades del asfalto y los agregados.

**Figura 3.-**Balance de energía en la superficie del pavimento



Fuente: Menendez, Jose. (2015)

### Reología del Asfalto

El deterioro prematuro de los pavimentos de las ciudades está relacionado directamente por el comportamiento reológico del asfalto.

La reología del asfalto es el estudio de las propiedades mecánicas y del flujo de los materiales asfálticos. El término “reología” se refiere a la ciencia que estudia la deformación y el flujo de la materia bajo la influencia de fuerzas externas. En el caso del asfalto, estas propiedades son importantes para comprender su comportamiento. Se puede decir que la reología es la encargada de estudiar la viscosidad, plasticidad y la elasticidad de los fluidos.

El asfalto es un material viscoelástico, lo que significa que tiene propiedades viscosas y elásticas. Un cuerpo viscoelástico es aquel material que presenta comportamiento elástico y viscoso al mismo tiempo. Una propiedad característica, es que cuando cesa la acción de una fuerza y esta cesa de actuar, la deformación del material no vuelve a cero. (Yarango, 2014)

Como dice Cárdenas y Fonseca (2009), “El asfalto se clasifica como material viscoelástico porque exhibe características viscosas y elásticas simultáneamente, es decir que es

un material de comportamiento intermedio entre el sólido de Hooke (elástico) y el líquido de Newton (viscoso). A temperaturas elevadas ( $>100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), el cemento asfáltico se comporta como un fluido viscoso (muestra la consistencia de un lubricante utilizado como aceite para motores), mientras que a bajas temperaturas ( $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) se comporta casi como un sólido elástico (como una banda de goma). Cuando se aplica una carga, el ligante se estira o comprime adoptando diferentes formas. Cuando se retira la carga, retorna a su forma original. A una temperatura intermedia, que es la condición prevista para el pavimento, el cemento asfáltico tiene características de fluido viscoso y sólido elástico”.

### **Efecto de temperatura en el asfalto**

El efecto de la temperatura en el asfalto es un componente importante que influye en el comportamiento y rendimiento. La elección del ligante asfáltico adecuada es crucial para garantizar un pavimento sea duradero y resistente a las variaciones de temperatura que existen en la provincia.

La temperatura tiene un impacto significativo en las propiedades físicas y mecánicas del asfalto ya que durante la fabricación y la colocación del asfalto la temperatura influye en la viscosidad del ligante. Un ligante de baja viscosidad a altas temperaturas ayuda a un mejor mezclado con los agregados por otro lado un ligante con alta viscosidad a bajas temperaturas asegura una buena adherencia y resistencia al deslizamiento en climas fríos.

Es importante considerar las condiciones climáticas y temperaturas ambientes de la zona en estudio para la elección del ligante asfáltico. En climas cálidos donde las temperaturas son altas se requieren un ligante que mantengan su estabilidad y resistencia a la deformación, en estos casos se utilizan ligantes modificados con polímeros que mejoran la resistencia térmica del asfalto y reducen la fluencia de este.

En climas fríos donde las temperaturas son bajas se requieren ligantes asfálticos que mantengan su flexibilidad y resistencia al agrietamiento a temperaturas bajas. Los ligantes asfálticos modificados con aditivos de baja temperatura por ejemplo los polímeros elastómeros el cual tiene una compatibilidad con el asfalto gracias a sus propiedades elásticas mejoran la capacidad para así resistir el agrietamiento por fatiga y las fisuras térmicas.

La elección del ligante también se basa por las características del pavimento y tráfico vehicular en la zona ya que un pavimento expuesto a cargas pesadas como son las vías principales de la provincia del Chimborazo requerirá un ligante asfáltico con mayor resistencia y capacidad de recuperación elástica. En este caso los ligantes asfálticos modificados con polímeros de alto rendimiento, como los elastómeros termoplásticos ayudan a mejorar la durabilidad y la resistencia a la fatiga térmica.

### **Agrietamiento por temperatura**

El agrietamiento por temperaturas bajas, también conocido como fatiga de material bituminoso por efecto de temperatura baja, es un fenómeno común que afecta a las mezclas asfálticas cuando están expuestas a bajas temperaturas. Estas condiciones frías pueden provocar que el material bituminoso se vuelva más rígido y frágil, lo que a su vez puede resultar en la formación de grietas en el pavimento.

El agrietamiento por temperaturas bajas es especialmente problemático en regiones con climas fríos o durante el invierno, cuando las temperaturas descienden por debajo del punto de congelación. Cuando el pavimento se enfría, el material bituminoso pierde su capacidad de deformarse y absorber los esfuerzos causados por el tráfico y las cargas aplicadas. Como resultado, se generan tensiones en el pavimento que pueden llevar a la formación de grietas.



Existen dos tipos principales de agrietamiento por temperaturas bajas: la fisuración por contracción térmica y la fisuración por fatiga por congelación y deshielo.(Valdes & Perez Jimenez, 2012)

La fisuración por contracción térmica ocurre cuando el pavimento se enfría y se contrae debido a las bajas temperaturas. Esta contracción puede generar tensiones internas en el material bituminoso, lo que finalmente resulta en la formación de grietas longitudinales en el pavimento.

La fisuración por fatiga por congelación y deshielo se produce cuando el agua presente en las fisuras y poros del pavimento se congela durante las temperaturas frías y se expande. Esta expansión ejerce presión sobre el material bituminoso, debilitándolo y generando grietas transversales y en forma de mapa en la superficie del pavimento.

### **Dilatación Térmica**

La dilatación térmica son fenómenos que afectan a los pavimentos cuando están expuestos a altas temperaturas. La dilatación térmica se refiere a la expansión del pavimento debido al aumento de la temperatura, mientras que el ahuellamiento es la deformación permanente o hundimiento que ocurre en la superficie del pavimento como resultado de esta dilatación.

Cuando los pavimentos se exponen a altas temperaturas, el asfalto, se vuelven más viscosos y suaves. Esto provoca que el pavimento se expanda térmicamente, lo que puede dar lugar a la formación de hundimientos o depresiones en su superficie. Estos hundimientos son generalmente más pronunciados en las capas asfálticas el que compromete la durabilidad del pavimento.

El ahuellamiento por temperatura alta es un problema común en regiones con climas cálidos o durante el verano, cuando las temperaturas pueden alcanzar niveles significativos.

Además de las altas temperaturas ambientales, otros factores como la exposición directa a la radiación solar y la carga de tráfico pueden influir en la magnitud del ahuellamiento o roderas.

Para prevenir o mitigar el ahuellamiento por temperatura alta, es importante considerar varios aspectos durante el diseño y la construcción del pavimento. Uno de ellos es la selección de materiales adecuados, como mezclas asfálticas modificadas con polímeros, que ofrecen una mayor resistencia al ablandamiento a altas temperaturas. Estos materiales tienen propiedades que les permiten mantener su estabilidad y rigidez, reduciendo así el riesgo de la rodera.

### **Contracción térmica**

La expansión y contracción térmica en pavimentos se refiere a los cambios dimensionales que experimenta un pavimento debido a las fluctuaciones de temperatura a las que está expuesto. Estos conceptos son importantes para comprender cómo el pavimento se comporta frente a los cambios térmicos y cómo estos cambios pueden afectar su estabilidad y durabilidad.

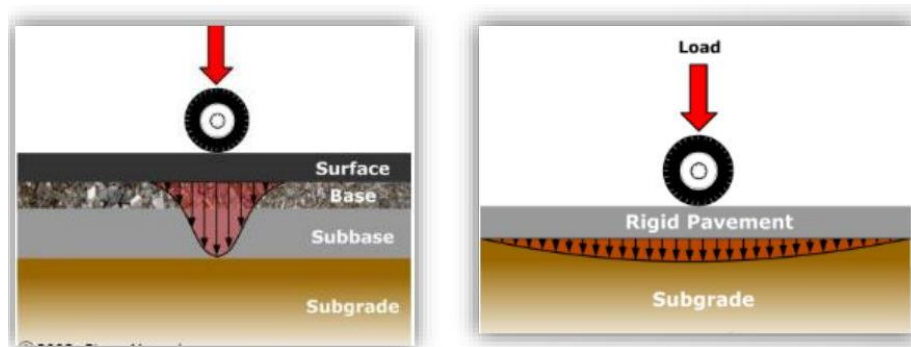
Cuando un pavimento se calienta debido a la radiación solar u otras fuentes de calor, tiende a expandirse, lo que significa que sus dimensiones aumentan. Por el contrario, cuando el pavimento se enfría, ya sea por la disminución de la temperatura ambiente o por la acción de la lluvia o el viento frío, tiende a contraerse, reduciendo sus dimensiones.

Los cambios dimensionales causados por la expansión y contracción térmica pueden generar tensiones en el pavimento. Estas tensiones pueden dar lugar a grietas, fisuras o desprendimientos en la superficie del pavimento, lo que compromete su integridad y durabilidad a largo plazo. (Zhang et al, 2023)

En el caso de los pavimentos, la contracción térmica puede afectar su comportamiento y capacidad de carga. "Los cambios de temperatura y humedad tienen ciertos efectos sobre la resistencia, durabilidad y capacidad de carga del pavimento y de los suelos de la subrasante."

En base a Del Aguila Rodriguez (2000), “el agua superficial también contribuye a la oxidación del asfalto, al ingresar por los vacíos de la capa de rodadura. Sin embargo, su mayor efecto destructivo se manifiesta en forma combinada con las cargas de tráfico, ya que el agua alojada en las fisuras del pavimento, por efecto de la presión de los neumáticos, genera una presión de poros que gradualmente destruye el pavimento” (pag.4)

**Figura 4.-**Expansión y contracción en pavimentos



Fuente: (Morales, 2018)

### **Fatiga Térmica**

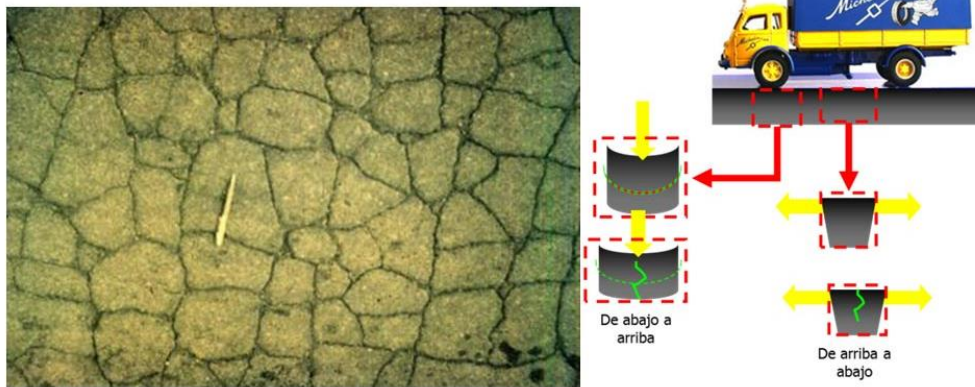
La fatiga térmica en los pavimentos se produce cuando los materiales experimentan ciclos repetidos de calentamiento y enfriamiento, lo que ocasiona la formación de grietas y la disminución de la resistencia del pavimento. Es un fenómeno que ocurre debido a la expansión y contracción térmica provocada por las variaciones de temperatura. Es especialmente relevante en climas con amplias fluctuaciones de temperatura en donde los pavimentos expuestos a cambios bruscos y repetidos de calor y frío.

Durante el día, la radiación solar calienta el pavimento, lo que provoca su expansión, mientras que, durante la noche, el enfriamiento causa su contracción.

Estos cambios dimensionales generan tensiones dentro del pavimento, especialmente en las capas superiores, que pueden resultar en fisuras y grietas. Con el tiempo, estas fisuras pueden

propagarse y debilitar aún más el pavimento, lo que lleva a un deterioro acelerado y una reducción en su vida útil. (Kwame, 2013)

**Figura 5.-Fatiga Térmica en Pavimentos**



Fuente: (Serrano, 2015)

## **Asfalto**

El asfalto es un material ampliamente utilizado en la construcción de carreteras, pavimentos y otras estructuras debido a sus propiedades únicas y beneficios. El término "asfalto" se utiliza comúnmente para referirse al producto final utilizado en la pavimentación, pero también se refiere a la materia prima, conocida como betún, que se obtiene del petróleo crudo.

“Según investigaciones de especialistas, se tiene registrado que la primera aplicación del asfalto, para la construcción de caminos en específico, tuvo lugar en Babilonia, aproximadamente 625 años A.C. Aunque también existe la versión de que el asfalto fue descubierto en Egipto, cerca del año 2500 A.C.” (Historia de Asfalto, 2023)

El asfalto es un material viscoso y pegajoso que se utiliza como aglomerante en la construcción de carreteras y pavimentos. Se compone principalmente de betún, que es un hidrocarburo complejo que se encuentra en la naturaleza o se produce a partir del petróleo crudo.

El betún es sometido a procesos de refinación y modificación para obtener diferentes grados y tipos de asfalto utilizados en diversas aplicaciones.

El asfalto tiene varias propiedades deseables que lo hacen ideal para su uso en la construcción de carreteras. Una de las propiedades clave es su viscosidad, que permite que el asfalto fluya y se adhiera a los agregados, creando una superficie sólida y duradera. Además, el asfalto es resistente al agua y a la mayoría de los productos químicos, lo que lo hace adecuado para su uso en entornos exteriores expuestos a condiciones climáticas y tráfico intenso.

#### Propiedades del asfalto

El asfalto es un material ampliamente utilizado en la construcción de carreteras y pavimentos debido a sus propiedades únicas. A continuación, se presentan algunas propiedades importantes del asfalto:

**Viscosidad:** El asfalto exhibe una alta viscosidad a temperaturas normales. Esta propiedad le permite fluir y adherirse a los agregados durante el proceso de pavimentación. La viscosidad del asfalto se reduce a medida que aumenta la temperatura, lo que facilita su aplicación y colocación.

**Elasticidad:** El asfalto es un material elástico que tiene la capacidad de deformarse bajo cargas de tráfico y recuperar su forma original cuando se elimina la carga. Esta propiedad le permite absorber y distribuir las tensiones causadas por el tráfico vehicular, lo que ayuda a evitar daños y deformaciones permanentes.

**Resistencia al agua:** El asfalto tiene una buena resistencia al agua, lo que significa que es impermeable y protege las capas inferiores del pavimento de la infiltración de agua. Esta propiedad es crucial para prevenir el daño causado por la humedad, como el agrietamiento y el debilitamiento de las capas de base y subbase.

Resistencia al envejecimiento: El asfalto debe ser capaz de resistir los efectos del envejecimiento causados por la exposición a la radiación solar, la oxidación y otros factores ambientales. Las propiedades del asfalto, como la rigidez y la fragilidad, pueden deteriorarse con el tiempo si no se toman medidas de mantenimiento adecuadas.

Adherencia: El asfalto debe tener una buena capacidad de adherencia para garantizar una unión fuerte entre los agregados y las capas de asfalto. Esto asegura la estabilidad y durabilidad del pavimento, evitando el desprendimiento de partículas y el deterioro prematuro.

Resistencia a la fatiga: El asfalto debe ser capaz de soportar repetidas cargas de tráfico sin desarrollar fisuras por fatiga. Esta propiedad se refiere a la capacidad del asfalto para resistir la propagación de fisuras bajo cargas cíclicas y mantener su integridad estructural a lo largo del tiempo.

### **Desempeño de mezclas asfálticas**

El desempeño de una mezcla asfáltica se puede evaluar mediante pruebas y criterios de desempeño establecidos por el PG y el método Superpave. Estos enfoques se utilizan ampliamente en la industria para evaluar y diseñar mezclas asfálticas de alta calidad. (Garnica et al, 2005)

En pavimentos, PG establece grados de desempeño basados en la temperatura de servicio esperada y las propiedades reológicas del asfalto. Estos grados se utilizan para seleccionar el tipo y la cantidad de asfalto que se necesita en una mezcla para garantizar que cumpla con los requisitos de desempeño en diferentes condiciones climáticas y de tráfico. (Torres & Eduardo, 2018)

Por otro lado, el método Superpave utiliza un enfoque más completo para el diseño y evaluación de mezclas asfálticas. Considera factores como la resistencia a la fatiga, la resistencia

a la deformación permanente, la resistencia al agrietamiento por temperatura y la capacidad de resistir el envejecimiento. Estas propiedades se evalúan mediante pruebas de laboratorio específicas, como el ensayo de módulo resiliente y el ensayo de fluencia por carga indirecta. (Garnica et al, 2005)

La mezcla asfáltica PG y Superpave se ha utilizado en carreteras y pavimentos en todo el mundo debido a su capacidad para resistir cargas de tráfico pesado y condiciones climáticas adversas. En términos de resistencia al desgaste, la mezcla asfáltica Superpave ha demostrado ser más duradera que la mezcla asfáltica PG. Además, la mezcla asfáltica Superpave ha demostrado una mayor resistencia a la deformación permanente en comparación con la mezcla asfáltica PG. (Kopalakrishnan, 2016)

**Tabla 1:** Especificaciones del ligante por el grado de desempeño

Performance Grade	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
Average 7-day max pavement design temp, °C <sup>a</sup>	<46			<52						<58					<64						
Min pavement design temperature, °C <sup>a</sup>	>34	>40	>46	>10	>16	>22	>28	>34	>40	>46	>16	>22	>28	>34	>40	>10	>16	>22	>28	>34	>40
<b>Original Binder</b>																					
Flash point temp, T 48, min °C	230																				
Viscosity, T 316: <sup>b</sup> max 3 Pa•s, test temp, °C	135																				
Dynamic shear, T 315: <sup>c</sup> G*/sinδ, <sup>d</sup> min 1.00 kPa test temp @ 10 rad/s, °C	46			52						58					64						
<b>Rolling Thin-Film Oven Residue (T 240)</b>																					
Mass change, <sup>e</sup> max, percent	1.00																				
Dynamic shear, T 315: G*/sinδ, <sup>d</sup> min 2.20 kPa test temp @ 10 rad/s, °C	46			52						58					64						
<b>Pressurized Aging Vessel Residue (R 28)</b>																					
PAV aging temperature, °C <sup>f</sup>	90			90						100					100						
Dynamic shear, T 315: G* sinδ, <sup>d</sup> max 5000 kPa test temp @ 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
Creep stiffness, T 313: <sup>g</sup> S, max 300 MPa <i>m</i> -value, min 0.300 test temp @ 60 s, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30
Direct tension, T 314: <sup>g</sup> Failure strain, min 1.0% test temp @ 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

Fuente: (Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder, 2015)



## Temperatura LTPP pavimentos

El LTPP también conocidas como propiedades térmicas se refiere a un conjunto de propiedades que se enfoca especialmente en el estudio de pavimentos a temperaturas altas como es el modelo LTPP BIND el que se presentó en el año 2004 un algoritmo mejorado para el cálculo del Grado de Desempeño a altas temperaturas, a través de un Modelo Climático Integrado (ICM) basado en datos de aproximadamente 8000 estaciones meteorológicas, con datos de temperaturas por cada hora, radiación solar y velocidad del viento.

Las temperaturas máximas diarias del aire se calculan para temperaturas por hora en el ICM y con base en estas temperaturas y la latitud de cada estación meteorológica, es así como se calcula la temperatura máxima del pavimento a una profundidad de 20 mm. (Mohseni A.C.,2004).

Modelo LTPP Bind (Mohseni e Carpenter, 2004) - ICM

$$T_{max} = 32.7 + 0.837T_{Maxair} - 0.0029Lat^2 + Z * (\sigma^2 + \delta_{modelo}^2)^{0.5}$$

### Donde:

*T<sub>max</sub>*: Temperatura máxima a 20 mm del pavimento (°C)

*T<sub>maxair</sub>*: Temperatura máxima del aire (°C)

*T<sub>minair</sub>*: Temperatura mínima del aire (°C)

*Lat*: Latitud en grados

*H*:Profundidad del pavimento

$\sigma$ :desviación estándar de la temperatura máxima del aire

$\delta$ : Error estándar del modelo = 2.1°C

*z*: Confiabilidad requerida – desviación estándar normal

Modelo LTPP Bind (LTPP-FHWA, 1998 e Bosscher, 2000)

$$T_{min} = -1.56 + 0.72T_{MinAir} - 0.004Lat^2 + 6.26 \log(H + 25) - Z * (4.4 + 0.52\sigma^2)^{1/2}$$

**Donde:**

*T<sub>min</sub>*: Temperatura mínima en la superficie del pavimento (°C)

*T<sub>air</sub>*: Temperatura mínima promedio (C°)

*Lat*: Latitud Geográfica del Proyecto

*H*: Profundidad de la superficie

*z*: Confiabilidad requerida

*σ<sub>aire</sub>*: desviación estándar de la temperatura media baja del aire (C°)

## **Humedad**

La humedad ha sido identificada como uno de los principales factores que afectan la durabilidad de las mezclas asfálticas. La degradación prematura de estas mezclas debido a la humedad es un problema serio y complicado. Por lo tanto, comprender este fenómeno y su impacto en las mezclas asfálticas es crucial para diseñar pavimentos duraderos en la provincia y en el resto del Ecuador. El daño causado por la humedad en la mezcla puede ocurrir de diferentes maneras como la falla cohesiva o adhesiva que es causada por la infiltración de agua en forma líquida o de vapor también existen factores que influyen en el daño por humedad que se divide en factores internos que están relacionados directamente con las propiedades de los materiales con la que está compuesta la mezcla bituminosa y los factores externos.

Es necesario incorporar el daño causado por la humedad en modelos que consideren la interacción del agua con otros elementos ambientales, como el aire, la temperatura, los rayos ultravioletas, entre otros. Estos permitirán evaluar por separado la influencia de cada uno de

estos elementos (desde una perspectiva mecánica y química) en el ligante y las mezclas de una manera que sea más precisa.

Al asfalto se le ha considerado como un material impermeable que no reacciona de manera significativa ante agentes externos. Sin embargo, es sabido que el agua contiene elementos como oxígenos y compuestos que pueden provocar cambios drásticos en las propiedades químicas y físicas del asfalto a un largo plazo, especialmente cuando la capa de unión entre el ligante y los agregados se presenta de la misma manera en las mezclas asfálticas.(Rondón Quintana, 2016)

## **Pavimentos**

**Figura 6.-Pavimento**



Fuente: (UNIFORT, 2023)

El pavimento es una estructura construida debajo de una calzada para evitar el paso de personas, animales o vehículos. Presenta una base horizontal a la que se pueden aplicar varios tipos de recubrimientos, pero generalmente consta de tres capas: sub-base, base y rodadura. (Tipos de Pavimentos, 2022).

Un pavimento es una serie de capas de materiales seleccionados que transmiten directamente las cargas del tráfico y las transfieren derivativamente a las capas inferiores, formando las superficies rodantes que deben funcionar de manera eficiente. Se requieren las siguientes condiciones para un correcto funcionamiento: Anchura, líneas horizontales y

verticales, capacidad portante suficiente para evitar roturas y grietas, y edemas para una buena adherencia entre vehículo y calzada incluso en condiciones húmedas. Debe ser lo suficientemente resistente a los efectos destructivos del tráfico, el clima y el agua. (El Pavimento, 2012).

### **Pavimento Flexible**

Un pavimento flexible es aquel que consiste en una capa o carpeta asfáltico, es decir, un pavimento flexible utiliza una mezcla de agregado grueso o fino (piedras trituradas, grava y arena) y material bituminoso derivado del asfalto o derivados del petróleo y el carbón. Este compuesto es compacto pero lo suficientemente plástico para absorber grandes impactos y manejar tráfico pesado. Los pavimentos flexibles se utilizan principalmente en áreas de alto tráfico, como carreteras, aceras o estacionamientos. (Pavimento Asfáltico, 2023)

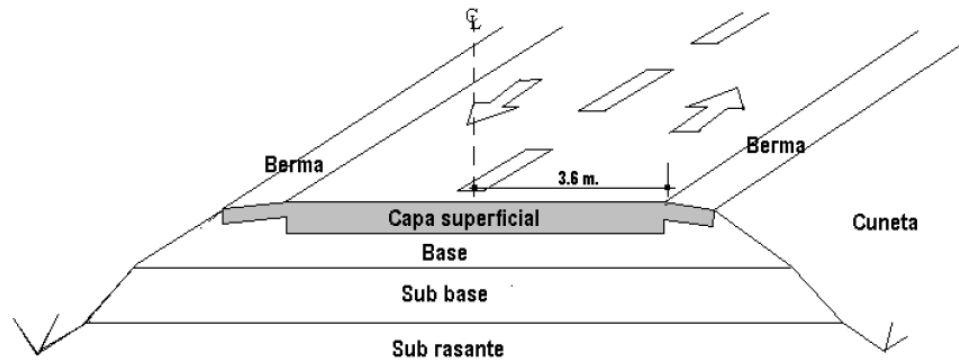
La construcción de pavimentos flexible se basa en múltiples capas de material. Cada capa recibe la carga por encima de ella. Cuando excede la carga que puede soportar, transfiere la carga excedente a la capa inferior. De esta manera debería poder absorber la carga total dentro de una serie de capas.

Las capas del pavimento flexible suelen ser: la capa superficial o capa superior en contacto con el tráfico rodado, que suele estar formada por varias capas de asfalto. La capa base es la capa debajo de la capa superficial, que generalmente está construida de agregados y puede estar estabilizada o no estabilizada. La capa sub – base es la capa o capas inmediatamente debajo de la capa base. Esta capa sub-base a menudo se omite. (Pavimento Flexible, 2012).

El período óptimo debe ser de 20 años. Para pavimentos flexibles, la estrategia de diseño elegida debe permitir un período inicial de construcción de al menos ocho años antes de aplicar otra capa. A medida que el módulo sea mayor, la capacidad estructural de la capa de pavimento

también incrementa. La carga se distribuye sobre una subestructura más ancha o piso de soporte.  
(Pavimentos, 2022)

**Figura 7.**-Estructura típica de un pavimento asfaltico



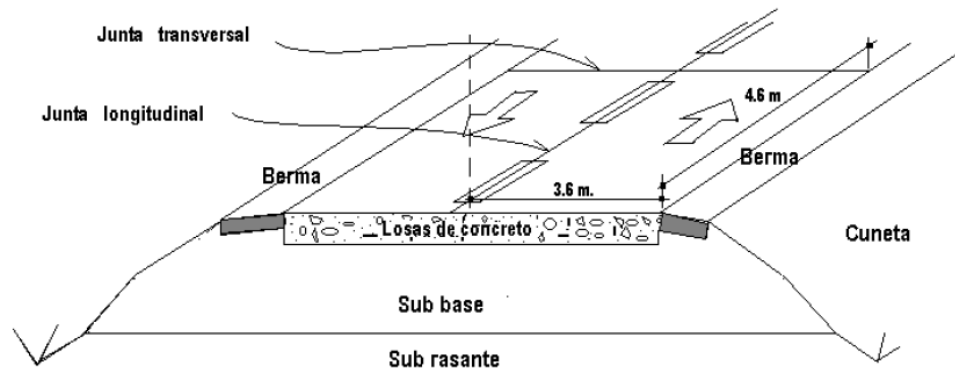
Fuente: (Ing.Vias, 2020)

### **Pavimento Rígidos**

Los pavimentos rígidos se refieren a los pavimentos construidos con materiales como el concreto o el hormigón que descansa directamente sobre una base o subrasante. Gracias a su rigidez y alta elasticidad, la placa absorbe gran parte de los esfuerzos sobre el pavimento, lo que asegura una buena distribución de las cargas de las ruedas, resultando en esfuerzos muy bajos.

Estos pavimentos son altamente resistentes y duraderos, y se utilizan comúnmente en carreteras, aeropuertos, puertos y otras infraestructuras de alto tráfico. Se caracteriza por su capacidad para distribuir las cargas de manera uniforme a través de una estructura de losas de concreto. Las losas son lo suficientemente fuertes como para soportar el tráfico vehicular pesado y resistir deformaciones y desgaste a lo largo del tiempo, su vida útil varía de 20 a 40 años, aunque en algunas condiciones favorables y con un mantenimiento adecuado, pueden durar incluso más tiempo, requiere de mantenimiento mínimo y generalmente solo se realiza en juntas de las losas. (Pavimento Rigido, 2019)

**Figura 8.-Estructura Típica de un Pavimento Rígido**

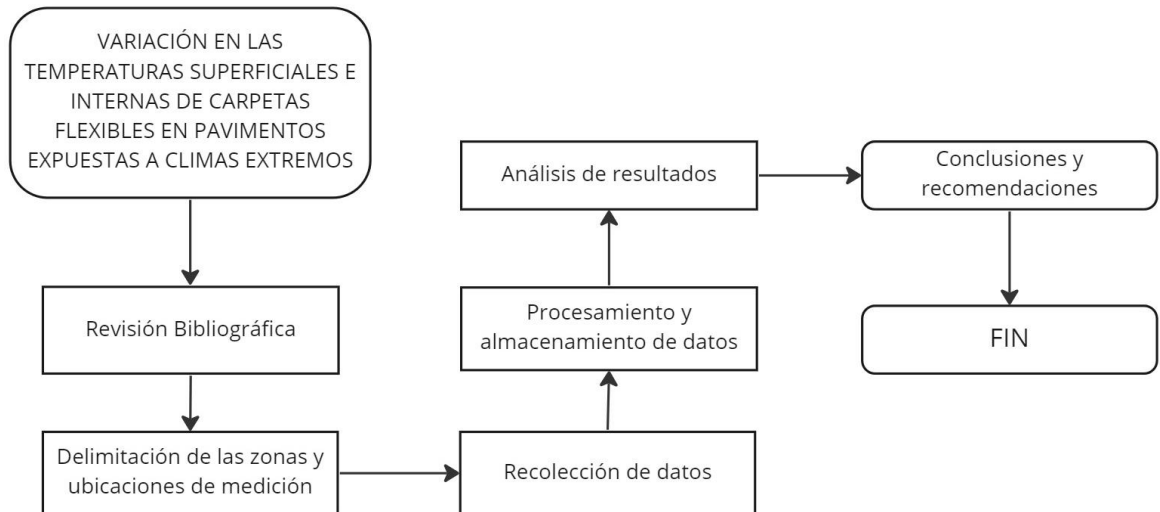


Fuente: (UNIFORT, 2023)

## CAPÍTULO III. METODOLOGIA

### Esquema de metodología aplicada

Figura 9.-Esquema de la metodología aplicada



miro

Fuente: (Quinabanda&Rea, 2023)

### Enfoque de Investigación

#### *Enfoque cuantitativo*

El presente tema de investigación se basa en un ámbito cuantitativo, es decir, al momento de dar a conocer el comportamiento del pavimento flexible y rígidos a cambios extremos de temperatura puede hacer que se vuelva quebradizo y se agriete, las heladas pueden provocar la formación de fisuras lo que puede comprometer su resistencia y durabilidad por lo cual es necesario tomar medidas y hacer una comparativa con datos de climas que se dan en la provincia de Chimborazo.

### Tipo de Investigación

#### *De campo*

La delimitación de las zonas para la obtención de datos se las identificó trazando las arterias principales de la Provincia de Chimborazo en donde tomamos aspectos principales como

la altitud de la zona y las propiedades físicas del pavimento (flexible y rígido), con las cuales se mapeo las vías principales de la provincia separándoles en dos zonas los que poseen altitudes máximas y mínimas con el fin de poder determinar una diferencia de temperaturas entre ambas.

### ***Bibliográfica***

Se realizó revisión bibliográfica en varias fuentes de información académica que tengan relación con el tema del proyecto de investigación, de igual manera nos ayudamos del programa NASA POWER – DATA e información del INAHMI que da a conocer información meteorológica de la zona de interés.

### **Diseño de Investigación**

#### ***Exploratoria***

Se trata de un estudio exploratorio ya que su prioridad es explorar y comprender las condiciones extremas de las temperaturas a las cuales están expuestas el pavimento.

#### ***Explicativa***

Es de estudio explicativa ya que su prioridad es dar a conocer los factores que influyen en el comportamiento del pavimento como es la temperatura.

### **Nivel de Investigación**

#### ***Aplicativa***

La investigación es aplicativa ya que el objetivo de este es comprender las variables que influyen en el comportamiento del pavimento en condiciones extremas y cómo podemos utilizar esos conocimientos para la toma decisiones en el diseño del pavimento, mantenimientos de carreteras en la Provincia de Chimborazo.



## **Variables**

### ***Variables Independientes***

Condiciones extremas: Esta variable representa las diferentes condiciones climáticas que pueden afectar la temperatura del pavimento, como altas temperaturas, bajas temperaturas, exposición a la radiación solar, viento, precipitación, entre otros.

### ***Variables Dependientes***

Temperatura del pavimento: Esta variable representa la temperatura registrada en el pavimento y es la principal variable de interés en esta investigación. Puede medirse utilizando sensores de temperatura colocados en diferentes ubicaciones del pavimento.

## **Técnicas de recolección de datos**

La técnica de recolección de datos se dio mediante la investigación de datos meteorológicos el que nos indicó las temperaturas máximas y mínimas de los últimos 20 años el cual fue el primer paso para identificar los meses pico para la recolección de datos donde podremos predecir el comportamiento a corto y largo plazo del pavimento con un sistema de clasificación por grado de desempeño PG.

En campo nos ayudamos de instrumentos de medición como fue un termómetro industrial MESTEK con el que obtuvimos los datos de la temperatura y humedad, de igual manera de un Taladro inalámbrico para llegar a la Base de la carpeta asfáltica y obtener las temperaturas internas.

## **Población de estudio y tamaño de muestra**

La población de estudio de este proyecto de investigación se conforma por los datos recogidos en los diversos puntos de las zonas críticas de mayor y menor altitud de la provincia del Chimborazo.

La muestra del proyecto de investigación comprende los datos proporcionados y recopilados de la Provincia de Chimborazo de los últimos 20 años.

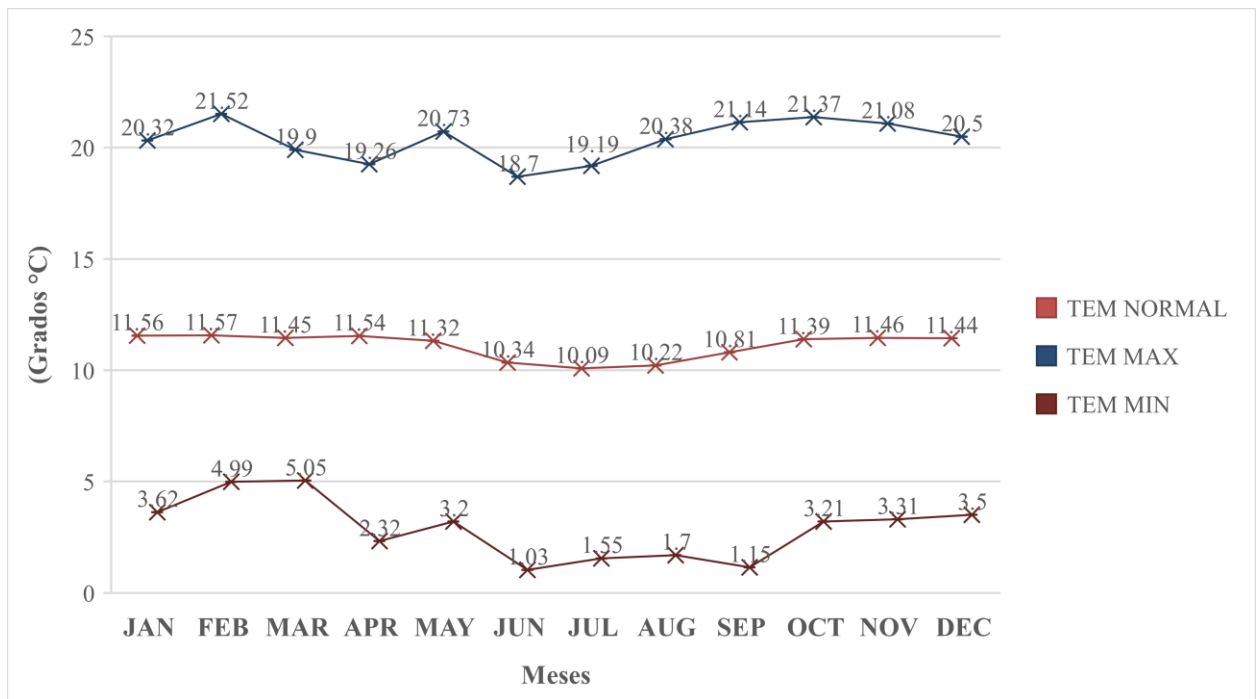
### **Método de análisis y procesamiento de datos**

El método de análisis se basó en la recopilación, clasificación y el procesamiento de la información tomada en campo, tomando en cuenta los resultados obtenidos se realizó la evaluación de los grados de desempeño PG en el que, gracias al cálculo de este, nos ayudará a observar en que rangos de temperatura está el pavimento con el modelo LTPP (Long Term Pavement Performance) y hacer una comparación con los resultados obtenidos en campo de las redes viales de la zonificación de las Provincia de Chimborazo.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para dar a conocer los picos de temperatura que existen en el año se trabajó con las temperaturas máximas y mínimas de los últimos 20 años de la Provincia del Chimborazo que proyectó la base de Datos NASA POWER DATA - Prediction of Worldwide Energy Resource como se puede observar en la Figura 10.

**Figura 10.-** Datos Históricos de Temperatura de Chimborazo (2002-2022) - NASA



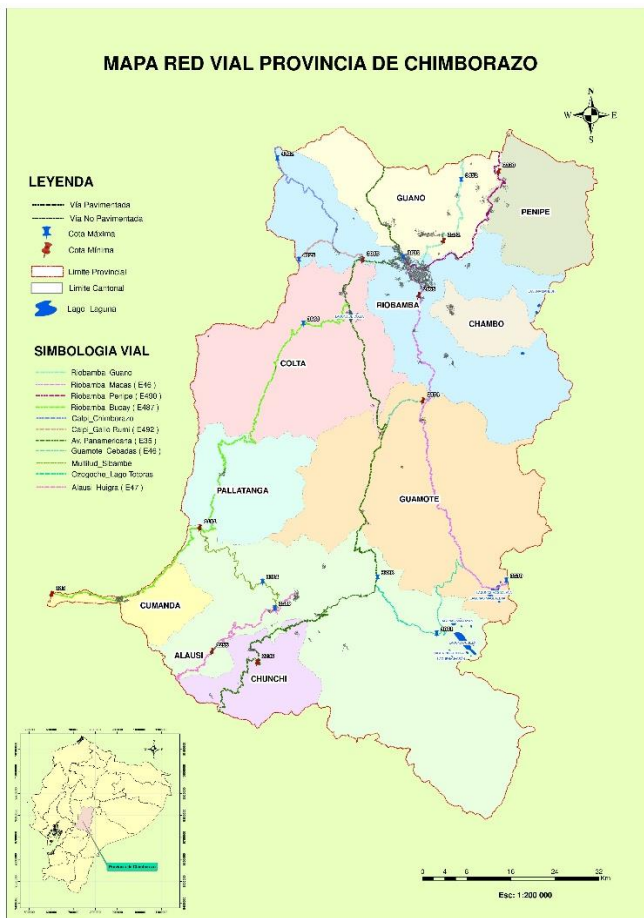
Fuente: (NASA;2023)

Los datos reflejados en la Figura 10, se muestra la temperatura máxima, mínima, normal que se dieron al cabo de 20 años de recolección de datos en el que indica que en los meses de Febrero, Mayo, Octubre existieron los picos de temperaturas máximas y en los meses de Junio, Julio, Agosto los picos con las temperaturas más frías en la zona de estudio el cual se eligió los

meses de Mayo, Junio para la realización y toma de datos en las zonas de mayor y menor altitud localizadas después de la zonificación de la Provincia de Chimborazo el que se muestra en la Figura 11.

De igual manera en la sección de anexos se encontrarán códigos QR en las que tendremos acceso al mapa en alta resolución. Por el motivo que en el informe de investigación no se puede apreciar la figura correctamente.

**Figura 11.- Zonificación Provincia de Chimborazo**



**Figura 12.- Código QR – Zonificación Provincia de Chimborazo**



Fuente: (Quinabanda & Rea, 2023)

Para dar a conocer la temperatura a la que se encuentra el asfalto se realizó la medición en campo de cada una de las altitudes máximas y mínimas de los puntos de la red zonificada el cual se indica en la Tabla 2.

**Tabla 2:** Altitudes máximas en malla vial

VÍAS	ESTE	NORTE	ALTURA	% H. SUPERFICIAL	% H. INTERNA
Riobamba_Guano	769323.84	9832081.87	3652	35 %	36 %
Riobamba_Macas (E46)	777510.19	9759256.75	3530	43 %	47 %
Riobamba_Penipe(E490)	758827.79	9818015.61	2832	31 %	39 %
Riobamba_Bucay(E487)	740596.07	9805955.58	3862	58 %	62 %
Calpi_Chimborazo	735902.52	9835978.84	4402	12 %	24 %
Calpi_Gallo Rumi(E492)	739778.42	9817579.09	4025	45 %	48 %
Av. Panamericana(E35)	753897.98	9760621.46	3778	59 %	40 %
Multitud_Sibambe	731823.00	9757660.85	3204	49 %	49 %
Ozogoche_Lago Totoras	764861.85	9749607.36	4061	74 %	74 %
Alausí_Huigra(E47)	735440.17	9754196.03	2589	48 %	49 %

Fuente: (Quinabanda & Rea ,2023)

De igual manera se realizó el mismo proceso para la medición en campo con la zonificación de la red vial para las altitudes mínimas con los datos obtenidos que se observan en la Tabla 3.

**Tabla 3:** Altitudes Mínimas en malla vial

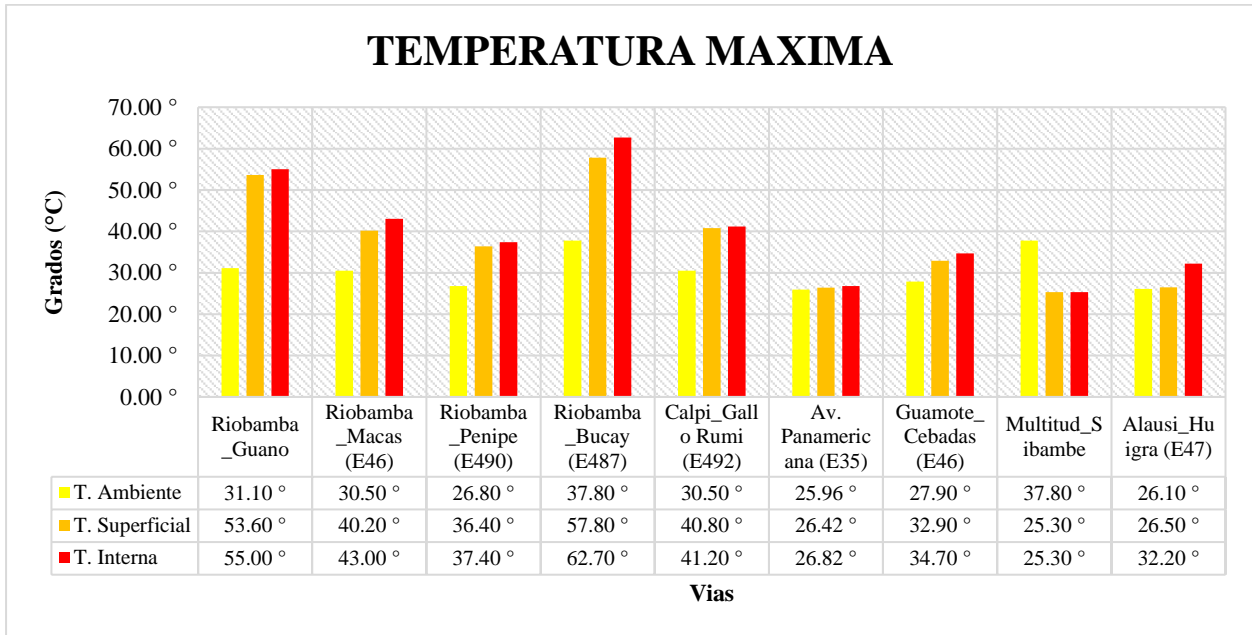
VÍAS	ESTE	NORTE	ALTURA	% H. SUPERFICIAL	% H. INTERNA
Riobamba_Guano	766107.45	9821017.19	2572	26 %	26 %
Riobamba_Macas (E46)	761622.63	9811131.77	2665	35 %	29 %
Riobamba_Penipe (E490)	776125.21	9833679.16	2320	37 %	37 %
Riobamba_Bucay (E487)	694973.21	9756761.39	142	40 %	32 %
Calpi_Gallo Rumi (E492)	751415.66	9817572.81	3065	48 %	39 %
Av. Panamericana (E35)	732325.33	9744394.45	2236	50 %	51 %
Guamote_Cebadas (E46)	762363.48	9791947.41	2874	30 %	34 %
Multitud_Sibambe	721840.23	9768878.70	1181	30 %	30 %
Alausí_Huigra (E47)	724060.01	9746404.71	1255	55 %	54 %

Fuente: (Quinabanda & Rea ,2023)

Los resultados que se obtuvieron mediante los datos extraídos de zonas estratégicas de la Provincia aquel que se indican en la Tabla 2 y Tabla 3, muestran las altitudes y coordenadas que sirvió de ayuda para las recolección de las temperatura máxima medidas al mediodía en donde tiene mayor exposición del sol, de igual manera las temperaturas mínimas las cuales se

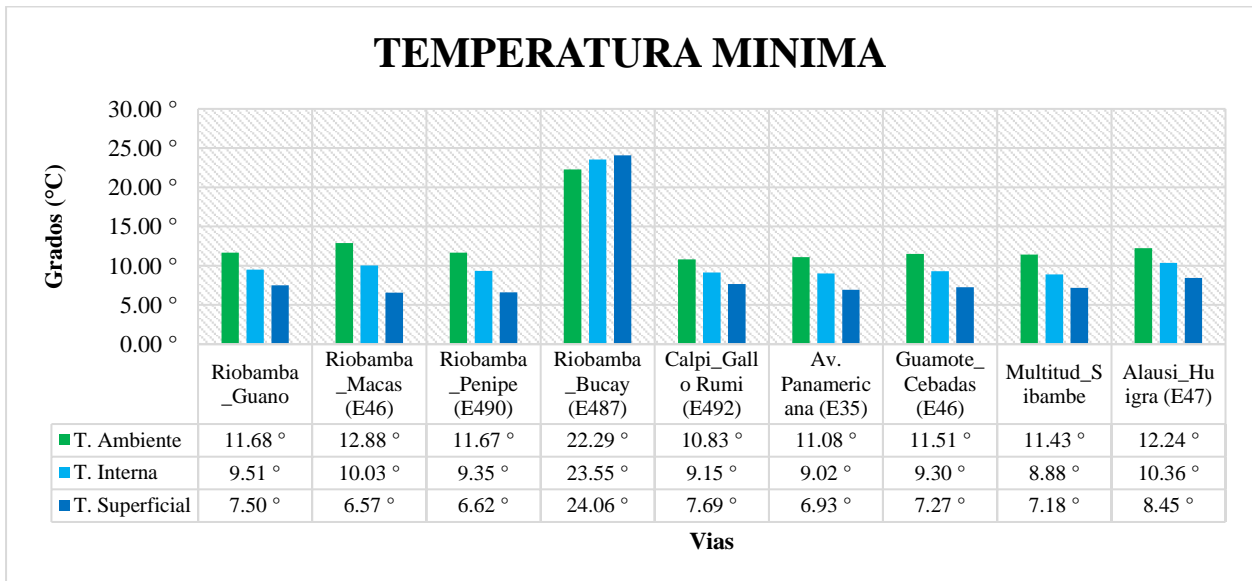
obtuvieron en horas de la madrugada en donde el pavimento no tiene contacto con la exposición del sol, a la vez indica las humedades que se obtuvieron en todas las redes zonificadas.

**Figura 13.-** Temperaturas altas en malla vial – Zona Bajas-Campo



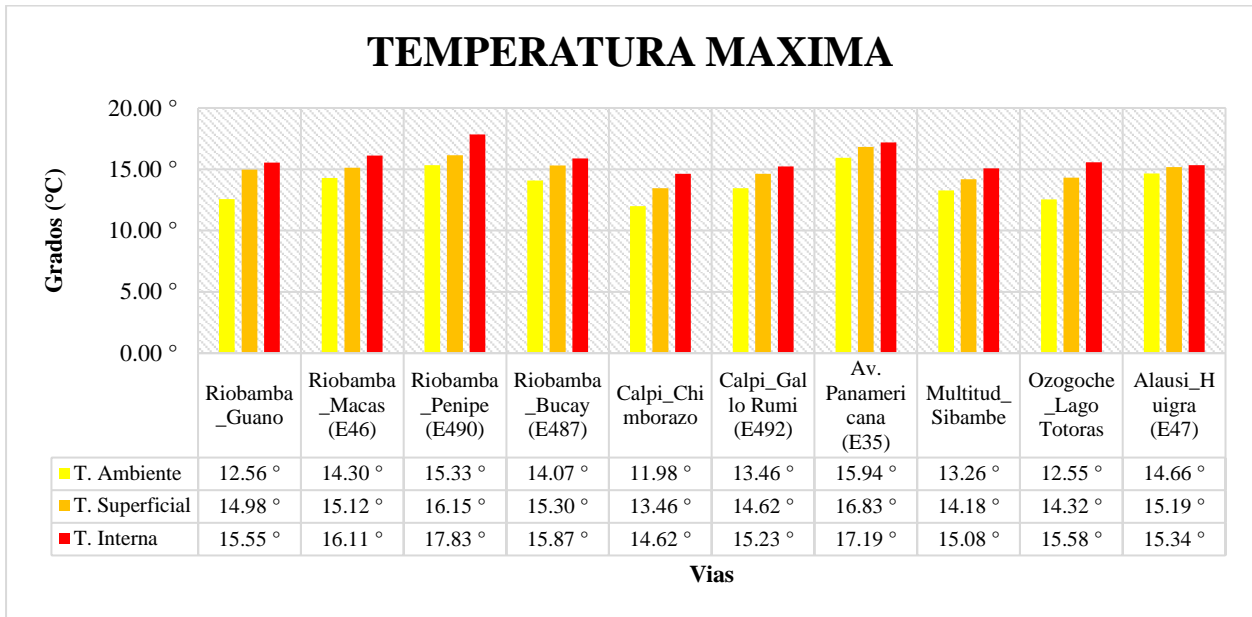
Fuente: (Quinabanda & Rea ,2023)

**Figura 14.-** Temperaturas mínimas en malla vial – Zonas Bajas-NASA POWER



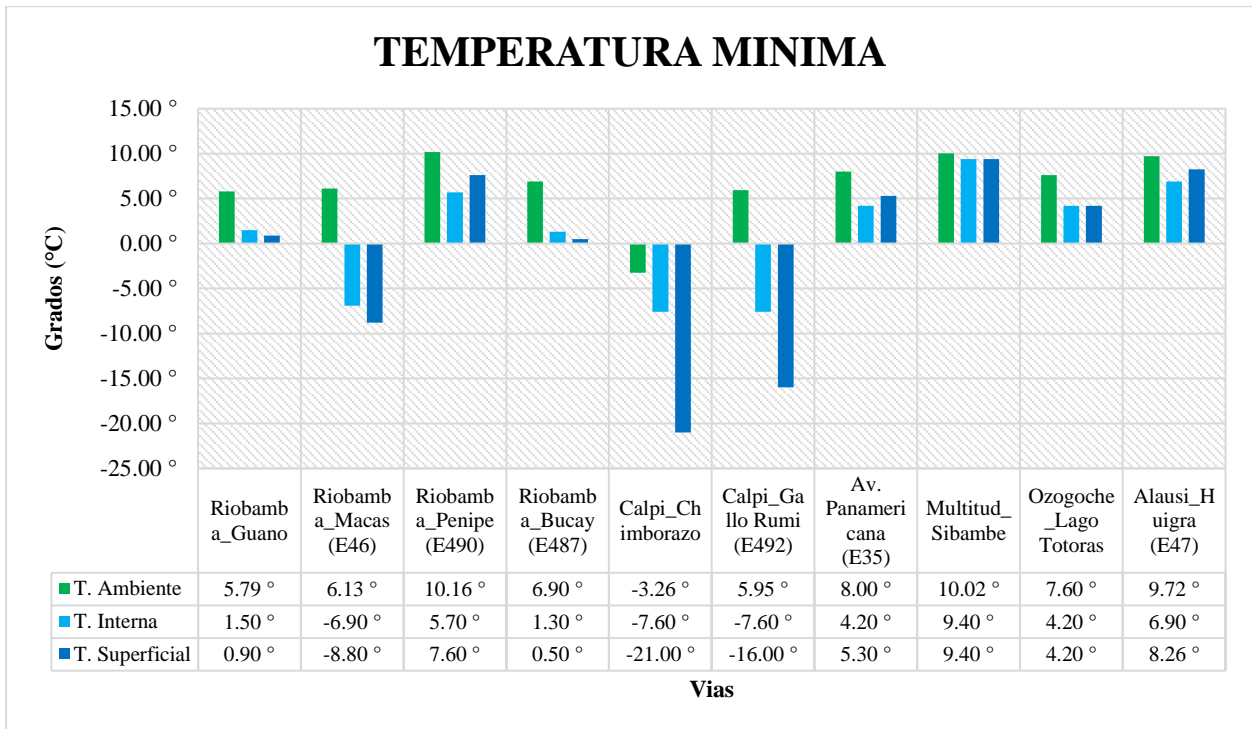
Fuente: (Quinabanda & Rea ,2023)

**Figura 15.-** Temperatura máxima en malla vial – Zonas Altas-NASA POWER



Fuente: (Quinabanda & Rea ,2023)

**Figura 16.-** Temperatura mínimas en malla vial – Zonas Altas-Campo



Fuente: (Quinabanda & Rea ,2023)

Por lo tanto la información recabada en campo, se indican en la Figura 13 y Figura 14 indica que las temperaturas máximas que se concentran en altitudes mínima tiene incremento alto en la temperatura que se encuentra en la superficie externa del pavimento y un mayor incremento en la parte interna se generó indicios en las horas pico en donde existe más exposición del sol el pavimento sufre expansiones y ahuellamiento, siendo la red vial de Riobamba – Cumandá la que sufre este mayor cambio con una temperatura superficial del  $57.8^{\circ}\text{C}$  y una temperatura interna del  $62.7^{\circ}\text{C}$ .

De igual manera los datos obtenidos que se reflejan en la Figura 15 y Figura 16 indican las temperaturas mínimas medidas en las altitudes máximas de la zonificación siguiendo el mismo proceso de medición, pero en este caso el pavimento sufre contracciones a causa de las bajas temperaturas obtenidas en las zonas, la zona del Chimborazo que posee una altitud de 4402 m.s.n.m la medición en campo in situ de la temperatura superficial de  $-21^{\circ}\text{C}$  y una temperatura interna de  $-7.6^{\circ}\text{C}$  en donde indica que es el punto con mayor exposición a temperaturas bajas.

Estos datos fueron recolectados en los meses de mayo y junio, en los cuales existen las temperaturas más altas y bajas en la zona, lo que contribuyó de manera significativa a la mejora en la obtención de datos, los mismos fueron comparados con datos históricos proporcionados por la NASA POWER DATA y datos obtenidos en campo indicó que en las fechas de estudio existe un incremento y decremento de la temperatura en donde procedimos al cálculo de las temperaturas promedio tanto de las altitudes máximas y altitudes mínimas, el cual se resumen en las siguientes tablas.



**Tabla 4:** Temperaturas máximas y mínimas promedio – Históricos NASA POWER

DATA-Zonas Altas

VÍAS	TEMPERATURA PROMEDIO	
	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Máxima (°C)
Riobamba_Guano	3.90	16.50
Riobamba_Macas (E46)	3.95	16.80
Riobamba_Penipe (E490)	3.90	16.50
Riobamba_Bucay (E487)	3.95	16.80
Calpi_Chimborazo	3.90	16.50
Calpi_Gallo Rumi (E492)	3.90	16.50
Av. Panamericana (E35)	3.95	16.80
Multitud_Sibambe	3.95	16.80
Ozogoche_Lago Totoras	4.83	17.05
Alausí_Huigra (E47)	3.95	16.80

Fuente: (Quinabanda &amp; Rea ,2023)

**Tabla 5:** Temperaturas máximas y mínimas promedio – Datos Puntuales – Zonas Bajas

VÍAS	TEMPERATURA AMBIENTE				TEMPERATURA PROMEDIO	
	Temperatura Mínima (°C)		Temperatura Máxima (°C)		Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Máxima (°C)
	T.1	T.2	T.1	T.2		
Riobamba-Guano	11.68	11.11	31.10	30.72	11.40	30.91
Riobamba-Macas (E46)	12.88	12.64	30.50	28.00	12.76	29.25
Riobamba-Penipe (E490)	11.67	11.21	26.80	27.20	11.44	27.00
Riobamba-Bucay	22.29	21.70	37.80	40.40	22.00	39.10
Calpi_Gallo Rumi (E492)	10.83	10.49	30.50	26.90	10.66	28.70
Av. Panamericana (E35)	11.08	11.81	25.96	24.48	11.45	25.22
Guamote-Cebadas (E46)	11.51	12.27	27.90	28.00	11.89	27.95
Multitud-Sibambe	11.43	11.22	37.80	38.00	11.33	37.90
Alausí-Huigra (E47)	12.24	12.98	26.10	26.30	12.61	26.20

Fuente: (Quinabanda &amp; Rea ,2023)

Para las temperaturas mínimas a diferencia de las altas se usaron las temperaturas más bajas que se dieron en el mes de estudio.

**Tabla 6:** Temperaturas máxima y mínima promedio – Históricos NASA POWER DATA– Zonas Bajas

VÍAS	TEMPERATURA PROMEDIO	
	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Máxima (°C)
Riobamba-Guano	3.90	16.50
Riobamba-Macas (E46)	3.90	16.50
Riobamba-Penipe (E490)	3.90	16.50
Riobamba-Bucay (E487)	16.95	28.70
Calpi-Gallo Rumi (E492)	3.90	16.50
Av. Panamericana (E35)	4.83	17.05
Guamote-Cebadas (E46)	3.95	16.80
Multitud-Sibambe	3.95	16.80
Alausí-Huigra (E47)	4.83	17.05

Fuente: (Quinabanda & Rea ,2023)

**Tabla 7:** Temperaturas máximas y mínima promedio – Datos Puntuales – Zonas Altas

VÍAS	TEMPERATURA AMBIENTE				TEMPERATURA PROMEDIO	
	Temperatura Mínima (°C)		Temperatura Máxima (°C)		Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Máxima (°C)
	T.1	T.2	T.1	T.2		
Riobamba-Guano	5.79	5.50	12.56	13.02	5.65	12.79
Riobamba-Macas (E46)	6.13	9.16	14.30	13.73	7.65	14.02
Riobamba-Penipe (E490)	10.16	8.00	15.33	14.99	9.08	15.16
Riobamba-Bucay (E487)	6.90	8.10	14.07	13.38	7.50	13.73
Calpi-Chimborazo	-3.26	-3.50	11.98	11.25	-3.38	11.62
Calpi-Gallo Rumi (E492)	5.95	5.00	13.46	13.78	5.48	13.62
Av. Panamericana (E35)	8.00	9.10	15.94	15.50	8.55	15.72
Multitud-Sibambe	10.02	9.40	13.26	13.55	9.71	13.41
Ozogoche-Lago Totoras	7.60	7.20	12.55	13.15	7.40	12.85
Alausí-Huigra (E47)	9.70	9.12	14.66	14.45	9.41	14.56

Fuente: (Quinabanda & Rea ,2023)

Después de obtener las temperaturas promedias de la zonas altas y bajas de la red zonificada en la provincia procedemos al cálculo de la desviación estándar de la misma el que se indicas en las Tabla 8 y Tabla 9.

**Tabla 8:** Zonas Bajas – Desviación Estándar-Datos de Campo Puntuales

VÍAS	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	
	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Máxima (°C)
Riobamba_Guano	0.40	0.27
Riobamba_Macas (E46)	0.17	1.77
Riobamba_Penipe (E490)	0.33	0.28
Riobamba_Bucay(E487)	0.42	1.84
Calpi_Gallo Rumi (E492)	0.24	2.55
Av. Panamericana (E35)	0.52	1.05
Guamote_Cebadas (E46)	0.54	0.07
Multitud_Sibambe	0.15	0.14
Alausí_Huigra (E47)	0.52	0.14

Fuente: (Quinabanda &amp; Rea ,2023)

**Tabla 9:** Zonas Altas – Desviación Estándar-Datos de Campos Puntuales

VÍAS	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	
	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Máxima (°C)
Riobamba_Guano	0.21	0.33
Riobamba_Macas (E46)	2.14	0.40
Riobamba_Penipe (E490)	1.53	0.24
Riobamba_Bucay (E487)	0.85	0.49
Calpi_Chimborazo	0.17	0.52
Calpi_Gallo Rumi (E492)	0.67	0.23
Av. Panamericana (E35)	0.78	0.31
Multitud_Sibambe	0.44	0.21
Ozogoche_Lago Totoras	0.28	0.42
Alausí_Huigra (E47)	0.41	0.15

Fuente: (Quinabanda &amp; Rea ,2023)

De igual manera se realizó el cálculo de la desviación estándar para los datos históricos extraídos de la Plataforma POWER NASA DATA el que se resume en la Tabla 10 y Tabla 11.

**Tabla 10:** Zonas Altas – Desviación Estándar – Datos Históricos NASA POWER DATA

VÍAS	DESVIACION ESTANDAR	
	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Máxima (°C)
Riobamba-Guano	1.02	0.70
Riobamba-Macas (E46)	1.08	0.71
Riobamba-Penipe (E490)	1.02	0.70
Riobamba-Bucay (E487)	1.08	0.71
Calpi-Chimborazo	1.02	0.70
Calpi-Gallo Rumi (E492)	1.02	0.70
Av. Panamericana (E35)	1.08	0.71
Multitud-Sibambe	1.08	0.71
Ozogoche-Lago Totoras	0.94	0.75
Alausí-Huigra (E47)	1.08	0.71

Fuente: (Quinabanda &amp; Rea ,2023)

**Tabla 11:** Zonas Bajas – Desviación Estándar – Datos Históricos NASA POWER DATA

VÍAS	DESVIACION ESTANDAR	
	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Máxima (°C)
Riobamba_Guano	1.02	0.70
Riobamba_Macas (E46)	1.02	0.70
Riobamba_Penipe (E490)	1.02	0.70
Riobamba_Bucay (E487)	0.62	1.55
Calpi_Gallo Rumi (E492)	1.02	0.70
Av. Panamericana (E35)	0.94	0.75
Guamote_Cebadas (E46)	1.08	0.71
Multitud_Sibambe	1.08	0.71
Alausí_Huigra (E47)	0.94	0.75

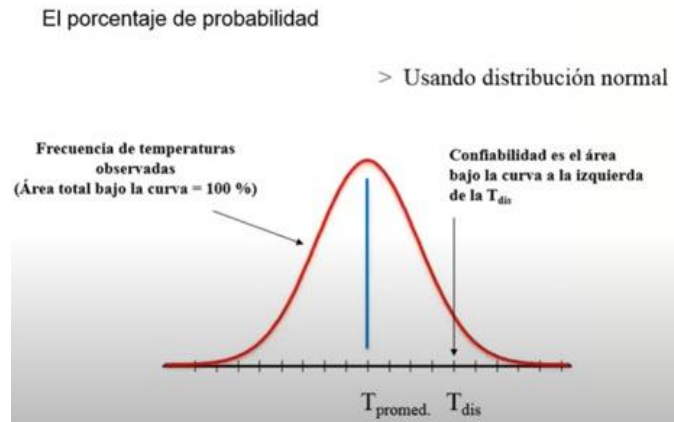
Fuente: (Quinabanda &amp; Rea ,2023)

Para la comparación se basó en el modelo matemático LTPP con el que procederemos a el cálculo de las temperaturas máximas y mínimas del ambiente con el fin de predecir las temperaturas que tendrían el pavimento.

Según Najarro y Ramos, (2021) en su investigación asegura que “El Programa de Investigación Estratégica de Carreteras (SHRP) recomienda calcular las temperaturas máxima y mínima del aire en 2 grados de confiabilidad: 50% ( $Z = 0$ ) y 98% ( $Z = 2.05$ ), siendo el valor de "Z" la única diferencia en los cálculos para calcular las temperaturas máximas y mínimas del aire

de un verano / invierno promedio y la temperatura extrema ya que nos dan un valor para un verano / invierno muy caluroso / frío.”

**Figura 17.- Nivel Confianza**



Fuente: (Najarro&Ramos,2021)

En esta investigación para el cálculo de las temperaturas máximas y mínimas del pavimento para el diseño con una profundidad de 20 mm se usó la siguiente formulas con un criterio del 50% y 98 % de confiabilidad.

Luego procedemos a calcular las  $T_{maxAir}$  y  $T_{minAir}$  con la ayuda de la siguientes formulas.

$$T_{maxAir} = T_{maxprom} + \sigma * Z$$

$$T_{minAir} = T_{minprom} - \sigma * Z$$

Dadas a conocer las fórmulas se procedió a calcular las  $T_{maxAir}$  y  $T_{minAir}$  de cada una de las redes zonificadas de la Provincia de Chimborazo cabe recalcar que se realizó el proceso para datos históricos de NASA POWER DATA y datos puntuales obtenidos en campo/ in situ.

Así calculamos las  $T_{maxAir}$  y  $T_{minAir}$  de las mallas zonificadas de Chimborazo.

**Tabla 12:** Temperaturas máximas y mínimas del aire con una confiabilidad del 50% de la Provincia de Chimborazo – Zonas Altas – Datos de Campo Puntuales

VÍAS	T° AL 50% DE CONFIABILIDAD	
	T. MINaire (°C)	T. MAXaire (°C)
Riobamba_Guano	5.65	12.79
Riobamba_Macas (E46)	7.65	14.02
Riobamba_Penipe (E490)	9.08	15.16
Riobamba_Bucay (E487)	7.50	13.73
Calpi_Chimborazo	-3.38	11.62
Calpi_Gallo Rumi (E492)	5.48	13.62
Av. Panamericana(E35)	8.55	15.72
Multitud_Sibambe	9.71	13.41
Ozogoche_Lago Totoras	7.40	12.85
Alausí_Huigra (E47)	9.41	14.56

Fuente: (Quinabanda & Rea, 2023)

**Tabla 13:** Temperaturas máximas y mínimas del aire con una confiabilidad del 50% de la Provincia de Chimborazo – Zonas Bajas – Datos de Campo Puntuales

VÍAS	T° AL 50% DE CONFIABILIDAD	
	T. MINaire (°C)	T. MAXaire (°C)
Riobamba_Guano	11.40	30.91
Riobamba_Macas (E46)	12.76	29.25
Riobamba_Penipe (E490)	11.44	27.00
Riobamba_Bucay (E487)	22.00	39.10
Calpi_Gallo Rumi (E492)	10.66	28.70
Av. Panamericana (E35)	11.45	25.22
Guamote_Cebadas (E46)	11.89	27.95
Multitud_Sibambe	11.33	37.90
Alausí_Huigra (E47)	12.61	26.20

Fuente: (Quinabanda & Rea ,2023)

De las Tablas 12 y 13 los resultados de las temperaturas máximas y mínimas que se realizaron con una confiabilidad del 50% se hallaron intervalos de temperaturas de 39.10° a -3.38°.

**Tabla 14:** Temperaturas máximas y mínimas del aire con una confiabilidad del 50% de la Provincia de Chimborazo – Zonas Altas – Datos Históricos NASA POWER DATA

VÍAS	TEMPERATURA AL 50% DE CONFIABILIDAD	
	T. MINaire (°C)	T. MAXaire (°C)
Riobamba_Guano	3.90	16.50
Riobamba_Macas (E46)	3.95	16.80
Riobamba_Penipe (E490)	3.90	16.50
Riobamba_Bucay (E487)	3.95	16.80
Calpi_Chimborazo	3.90	16.50
Calpi_Gallo Rumi (E492)	3.90	16.50
Av. Panamericana (E35)	3.95	16.80
Multitud_Sibambe	3.95	16.80
Ozogoche_Lago Totoras	4.83	17.05
Alausí_Huigra (E47)	3.95	16.80

Fuente: (Quinabanda & Rea ,2023)

**Tabla 15:** Temperaturas máximas y mínimas del aire con una confiabilidad del 50% de la Provincia de Chimborazo – Zonas Bajas – Datos Históricos NASA POWER DATA

VÍAS	TEMPERATURA AL 50% DE CONFIABILIDAD	
	T. MINaire (°C)	T. MAXaire (°C)
Riobamba-Guano	3.90	16.50
Riobamba-Macas (E46)	3.90	16.50
Riobamba-Penipe (E490)	3.90	16.50
Riobamba-Bucay (E487)	16.95	28.70
Calpi-Gallo Rumi (E492)	3.90	16.50
Av. Panamericana (E35)	4.83	17.05
Guamote-Cebadas (E46)	3.95	16.80
Multitud-Sibambe	3.95	16.80
Alausí-Huigra (E47)	4.83	17.05

Fuente: (Quinabanda & Rea ,2023)

De la Tabla 14 y Tabla 15 obtuvimos las Temperaturas Mínimas y máximas de los Datos Históricos en las zonas altas que arrojo intervalos de temperatura de 17.05° y 3.90° de igual manera en las zonas bajas se obtuvo intervalos de 28.70° y 3.90°.

Después procedemos a calcular las temperaturas máximas y mínimas con una confiabilidad del 98% se usará el mismo proceso.

**Tabla 16:** Temperaturas máximas y mínimas del aire con una confiabilidad del 98% de la Provincia de Chimborazo – Zonas Altas – Datos de Campo

VÍAS	T° AL 98% DE CONFIABILIDAD	
	T. MINaire (°C)	T. MAXaire (°C)
Riobamba_Guano	5.22	13.46
Riobamba_Macas (E46)	3.25	14.84
Riobamba_Penipe (E490)	5.95	15.65
Riobamba_Bucay (E487)	5.76	14.73
Calpi_Chimborazo	-3.73	12.67
Calpi_Gallo Rumi (E492)	4.10	14.08
Av. Panamericana (E35)	6.96	16.36
Multitud_Sibambe	8.81	13.83
Ozogoche_Lago Totoras	6.82	13.72
Alausí_Huigra (E47)	8.57	14.86

Fuente: (Quinabanda & Rea ,2023)

**Tabla 17:** Temperaturas máximas y mínimas del aire con una confiabilidad del 98% de la Provincia de Chimborazo – Zonas Bajas – Datos De campo

VÍAS	T° AL 98% DE CONFIABILIDAD	
	T. MINaire (°C)	T. MAXaire (°C)
Riobamba-Guano	10.57	31.46
Riobamba-Macas (E46)	12.41	32.87
Riobamba-Penipe (E490)	10.77	27.58
Riobamba-Bucay (E487)	21.14	42.87
Calpi-Gallo Rumi (E492)	10.17	33.92
Av. Panamericana (E35)	10.39	27.37
Guamote-Cebadas (E46)	10.79	28.09
Multitud-Sibambe	11.02	38.19
Alausí-Huigra (E47)	11.54	26.49

Fuente: (Quinabanda & Rea ,2023)

En las Tabla 16 y 17 tenemos los resultados de las temperaturas máximas y mínimas con una confiabilidad de 98%, en las zonas altas se obtuvieron intervalos de temperaturas 16.36° y -3.73°, en las zonas bajas se obtuvieron intervalos de temperatura 42.87° y 10.39°.



**Tabla 18:** Temperaturas máximas y mínimas del aire con una confiabilidad del 98% de la Provincia de Chimborazo – Zonas Altas – Datos Históricos NASA POWER DATA

VÍAS	TEMPERATURA AL 98% DE CONFIABILIDAD	
	T. MINaire (°C)	T. MAXaire (°C)
Riobamba-Guano	1.80	17.93
Riobamba-Macas (E46)	1.74	18.25
Riobamba-Penipe (E490)	1.80	17.93
Riobamba-Bucay (E487)	1.74	18.25
Calpi-Chimborazo	1.80	17.93
Calpi-Gallo Rumi (E492)	1.80	17.93
Av. Panamericana (E35)	1.74	18.25
Multitud-Sibambe	1.74	18.25
Ozogoche-Lago Totoras	2.90	18.59
Alausí-Huigra (E47)	1.74	18.25

Fuente: (Quinabanda & Rea ,2023)

**Tabla 19:** Temperaturas máximas y mínimas del aire con una confiabilidad del 98% de la Provincia de Chimborazo – Zonas Bajas – Datos Históricos NASA POWER DATA

VÍAS	TEMPERATURA AL 98% DE CONFIABILIDAD	
	T. MINaire (°C)	T. MAXaire (°C)
Riobamba-Guano	1.80	17.93
Riobamba-Macas (E46)	1.80	17.93
Riobamba-Penipe (E490)	1.80	17.93
Riobamba-Bucay (E487)	15.69	31.87
Calpi-Gallo Rumi (E492)	1.80	17.93
Av. Panamericana (E35)	2.90	18.59
Guamote-Cebadas (E46)	1.74	18.25
Multitud-Sibambe	1.74	18.25
Alausí-Huigra (E47)	2.90	18.59

Fuente: (Quinabanda & Rea ,2023)

En la Tabla 18 y Tabla 19 tenemos los resultados de Tmaxair y Tminair el que se lo realizo con una confiabilidad del 98% en la zona alta en que se halló intervalos de temperatura de 18.59° a 1.74° el que se realizó con datos extraídos de la página oficial NASA POWER DATA de igual forma se obtuvo un intervalo en la zona baja de 31.87° y 1.74°.

Luego de determinar las temperaturas máximas y mínimas con una confiabilidad del 50% y 98%, se comparó y se proporcionó que los resultados obtenidos con el 98% nos indican los valores extremos que requiere el método Superpave para el cálculo de Grado de Desempeño.

Con los resultados obtenidos procedemos a calcular el grado de desempeño PG utilizando las fórmulas del modelo matemático LTPP (2004).

Temperatura Máximas – LTPP Bind 2004

$$T_{max} = 32.7 + 0.837T_{MaxAir} - 0.0029Lat^2 + Z * (\sigma^2 + \delta modelo^2)^{0.5}$$

Temperatura Mínimas – LTPP 1998 e Bosscher 2000

$$T_{min} = -1.56 + 0.72T_{MinAir} - 0.004Lat^2 + 6.26 \log(H + 25) - Z(4.4 + 0.52\sigma^2)^{1/2}$$

Para el cálculo de las temperaturas máximas con los datos de campo puntuales e históricos de la plataforma NASA POWER DATA se realizó un diseño a 20mm el cual se resume en las siguientes tablas, de igual manera para las temperaturas mínimas se realizó el mismo proceso.

- Zonas Altas
- Modelo LTPP

**Tabla 20:** Tabla resumen de Temperaturas máximas y mínimas de la Capa de Rodadura - Zonas Altas – Datos de Campo

VÍAS	TEMPERATURA CAPA DE RODADURA	
	MODELO LTPP (2004)	MODELO LTPP (98-2002)
	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)
Riobamba-Guano	48.54	9.96
Riobamba-Macas (E46)	49.71	7.50
Riobamba-Penipe (E490)	50.35	9.94
Riobamba-Bucay (E487)	49.66	10.18
Calpi-Chimborazo	47.95	3.52
Calpi-Gallo Rumi (E492)	49.03	9.05
Av. Panamericana (E35)	50.95	11.06
Multitud-Sibambe	48.81	12.50
Ozogoche-Lago Totoras	48.78	11.09
Alausí-Huigra (E47)	49.66	12.33

Fuente: (Quinabanda & Rea ,2023)

**Tabla 21:** Tabla resumen de Temperaturas máximas y mínimas de la Capa de Rodadura - Zonas Altas – Datos Históricos NASA POWER DATA

VÍAS	TEMPERATURA CAPA DE RODADURA	
	MODELO LTPP (2004)	MODELO LTPP (98-2002)
	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)
Riobamba-Guano	52.46	7.25
Riobamba-Macas (E46)	52.72	7.17
Riobamba-Penipe (E490)	52.46	7.25
Riobamba-Bucay (E487)	52.73	7.18
Calpi-Chimborazo	52.46	7.25
Calpi-Gallo Rumi (E492)	52.46	7.25
Av. Panamericana (E35)	52.72	7.17
Multitud-Sibambe	52.72	7.17
Ozogoche-Lago Totoras	53.03	8.07
Alausí-Huigra (E47)	52.72	7.17

Fuente: (Quinabanda & Rea ,2023)

- Zonas Bajas
- Modelo LTPP

**Tabla 22:** Tabla resumen de Temperaturas máximas y mínimas de la Capa de Rodadura - Zonas Bajas – Datos de Campo

VÍAS	TEMPERATURA CAPA DE RODADURA	
	MODELO LTPP (2004)	MODELO LTPP (98-2002)
	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)
Riobamba-Guano	63.59	13.78
Riobamba-Macas (E46)	66.01	15.14
Riobamba-Penipe (E490)	60.35	13.94
Riobamba-Bucay (E487)	74.46	21.38
Calpi-Gallo Rumi (E492)	67.99	13.52
Av. Panamericana (E35)	60.60	13.61
Guamote-Cebadas (E46)	60.74	13.90
Multitud-Sibambe	69.19	14.13
Alausí-Huigra (E47)	59.40	14.44

Fuente: (Quinabanda & Rea ,2023)

**Tabla 23:** Tabla resumen de Temperaturas máximas y mínimas de la Capa de Rodadura - Zonas Bajas – Datos Históricos NASA POWER DATA

VÍAS	TEMPERATURA CAPA DE RODADURA	
	MODELO LTPP (2004)	MODELO LTPP (98-2002)
	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)
Riobamba-Guano	52.46	7.25
Riobamba-Macas (E46)	52.46	7.25
Riobamba-Penipe (E490)	52.46	7.25
Riobamba-Bucay (E487)	64.89	17.40
Calpi-Gallo Rumi (E492)	52.46	7.25
Av. Panamericana (E35)	53.03	8.07
Guamote-Cebadas (E46)	52.73	7.18
Multitud-Sibambe	52.72	7.17
Alausí-Huigra (E47)	53.03	8.07

Fuente: (Quinabanda & Rea ,2023)

Conforme a las Tablas resumen en donde se da a conocer los valores calculados, proseguimos a la elección del grado de desempeño PG más óptimo el que brindara un grado de confiabilidad alto en cada red vial de la Provincia del Chimborazo que se resume en las siguientes Tablas.

**Tabla 24:** Tabla resumen de Grados de Desempeño Zonas Altas – Datos de Campo – Datos Históricos NASA POWER DATA

VIAS	GRADO DE DESEMPEÑO (PG) DE ASFALTO	
	Datos de Campo	Datos Históricos NASA
Riobamba-Guano	52-10	58-16
Riobamba-Macas (E46)	52-10	58-16
Riobamba-Penipe (E490)	52-10	58-16
Riobamba-Bucay (E487)	52-10	58-16
Calpi-Chimborazo	52-10	58-16
Calpi-Gallo Rumi (E492)	52-10	58-16
Av. Panamericana (E35)	52-10	58-16
Multitud-Sibambe	52-10	58-16
Ozogoche-Lago Totoras	52-10	58-16
Alausí-Huigra (E47)	52-10	58-16

Fuente: (Quinabanda & Rea ,2023)

**Tabla 25:** Tabla resumen de Grados de Desempeño Zonas Bajas – Datos de Campo – Datos Históricos NASA POWER DATA

VIAS	GRADO DE DESEMPEÑO (PG) DE ASFALTO	
	Datos de Campo	Datos Históricos NASA
Riobamba_Guano	64-10	58-16
Riobamba_Macas (E46)	70-10	58-16
Riobamba_Penipe (E490)	64-10	58-16
Riobamba_Bucay (E487)	76-10	70-10
Calpi_Gallo Rumi (E492)	70-10	58-16
Av. Panamericana (E35)	64-10	58-16
Guamote_Cebadas (E46)	64-10	58-16
Multitud_Sibambe	70-10	58-16
Alausí_Huigra (E47)	64-10	58-16

Fuente: (Quinabanda & Rea ,2023)

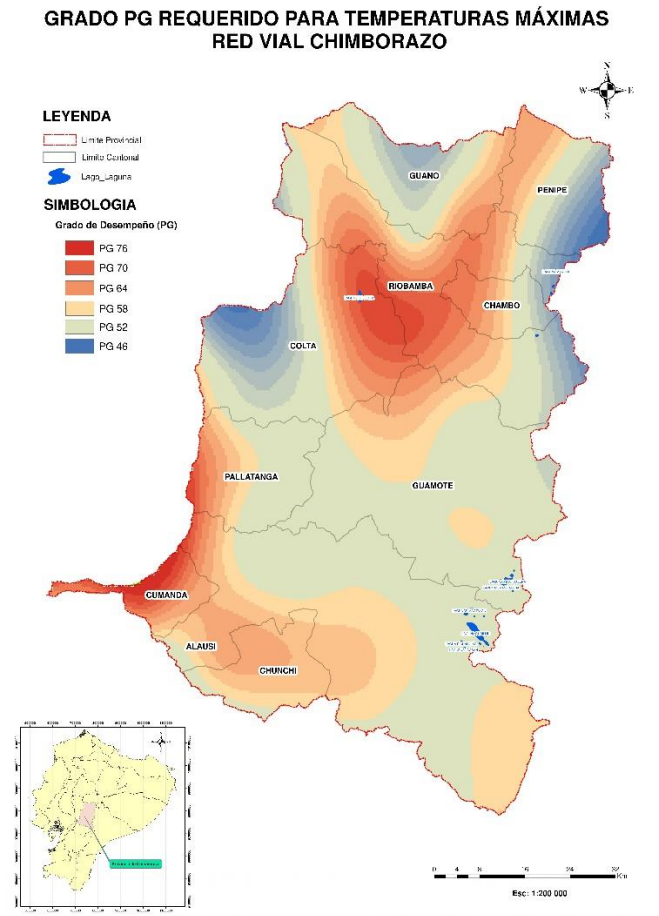
Conforme a la Tablas que se dan a conocer las temperaturas máximas y mínimas y los PG obtenidos los mismos que se resumen en la Tabla 24 y 25, damos a conocer los grados de desempeño escogidos por lo que es fundamental, ya que gracias a esto podemos identificar las diversas implicaciones en el desempeño como es la durabilidad y más importante la seguridad en las infraestructuras viales de la Provincia del Chimborazo. En esta discusión abordaremos los principales hallazgos obtenidos en la investigación que se realizó.

En el método de análisis con los datos recopilados en campo se dio a conocer la relación significativa que hay con las temperaturas extremas y el daño que causas en el pavimento ya que a medida que las temperaturas tienen un incremento o una disminución los daños en el pavimentos tienden a aumentar esto es importante tomar en cuenta ya que en nuestro país no es tan considerada las condiciones climáticas que existen como es el caso de la Provincia de Chimborazo, con los datos obtenidos en esta investigación el cual se resume en la Tabla 24 damos a conocer una comparativa con datos históricos de 20 años y datos puntuales tomadas en campo en las zonas altas de la malla zonificada de igual manera en la Tabla 25 se da a conocer los resultados de datos históricos recolectados del POWER DATA NASA en el que escogimos el

PG más adecuados a cada red vial dando a entender que las zonas altas predomina el PG 52-10 siguiéndole el PG 58-16 de igual manera para las zonas bajas en la vía Riobamba-Cumandá (Bucay) se obtuvo un PG 76-10 predomina en esa área en cambio en la zona media de la provincia se muestra un resultado de PG 70-10 y 64-10 con los datos recolectados en campo con el que se hace la comparación con el PG elegido de las reseñas histórica en donde predomina un PG de 58-16 esto nos da a entender que en los últimos años el temperatura ha sufrido un cambio significativo ya que en la actualidad el clima tiende a variar de una manera brusca en la zona el que se debe tomar en cuenta las características de las zonas más a profundidad que brindará un mayor grado de confiabilidad al momento de un diseño de pavimento, igual guiándonos con las especificaciones técnicas de la AASHTO que nos brinda un detalle más profundo del ligante asfáltico elegido para cada una de las zonas.

El que presentamos en la siguiente figura para un mejor entendimiento. Y de lado derecho se encuentra el código QR para tener la imagen en una mejor calidad.

**Figura 19.-** Mapa de Grado de Desempeño (PG)



**Figura 18.-** Código QR – mapa de desempeño PG



Fuente: (Quinabanda & Rea ,2023)

De igual forma en esta investigación se realizó el cálculo en redes viales que no existe un ligante asfáltico por el motivo que en futuros proyectos viales se pueda tomar en cuenta los valores tomados en campo como la obtención de un PG más viable para la zona el que brindará unos mejores desempeños que ayudará a un mejor diseño.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- La zonificación de temperatura se llevó a cabo con el propósito de identificar puntos estratégicos para demostrar el comportamiento térmico de las zonas. Esto se basó en un análisis de reseñas históricas obtenidos mediante una revisión bibliográfica y medidas de campo, lo que permite obtener una base de datos amplia y producir resultados muy cercanos a la realidad.
- Las temperaturas máximas y mínimas de diseño del pavimento se determinaron mediante el método LTPP para cada malla vial zonificada. A partir de esto, se asignó un grado de desempeño (PG) de modo que la temperatura máxima de diseño estuviera por encima de la temperatura máxima de campo y la temperatura mínima de diseño estuviera por debajo de la temperatura mínima de campo. Esto asegurará que el ligante asfáltico asignado funcionará correctamente durante su vida útil. Se eligió el modelo LTPP para la construcción del mapa de zonas debido a su 98 % de certeza ya que brinda mayor seguridad y homogeneización a los PG obtenidos. Como resultados de la zonificación, se definieron dos zonas de grados de desempeño (PG), las cuales están determinadas en mayor medida por los grados de temperatura mínima de diseño:  $-10^{\circ}\text{C}$ , mientras que en las temperaturas máximas existe  $52^{\circ}\text{C}$ ,  $64^{\circ}\text{C}$ ,  $70^{\circ}\text{C}$ ,  $76^{\circ}\text{C}$ .
- Se recopiló datos para su análisis, evidenciando un aumento en las temperaturas de la red vial zonificada en donde se encuentran presentes los pavimentos rígidos y flexibles. Los resultados recopilados en campo fueron contrastados con datos de la plataforma NASA POWER, donde se obtuvo que los datos medidos en campo exceden los valores de las



reseñas históricas, obteniendo así grados de desempeño PG 76-10 en la vía Riobamba – Bucay y un PG 52-10 en la vía Calpi-Gallo Rumi.

- El estudio realizado permitió identificar las zonas de acumulación isotérmicas tanto máximas y mínimas. Para Bucay se registró que las isotérmicas es de 20°C en la madrugada, mientras que para la ciudad de Guayaquil varían desde 22.5 a 25°C, en esta zona las temperaturas son más pronunciadas lo cual indica condiciones ambientales más extremas y un aumento sustancial durante el día. Ver Anexos 1

## RECOMENDACIONES

- Debido al incremento brusco de las temperaturas que se dan en las últimas temporadas, se recomienda actualizar cada año el Mapa de Grado de Desempeño (PG) que abarque todas las regiones del Ecuador, para así proporcionar un punto de partida que pueda ser tomado en cuenta en las Normas Ecuatorianas para así fomentar la elección de un correcto ligante que vaya acorde a la zona y tenga un excelente rendimiento.
- En la actualidad es necesario realizar estudios a fondo acerca de diferentes técnicas y materiales en el diseño y construcción de pavimentos. Por ejemplo, se pueden utilizar mezclas asfálticas especiales que contengan polímeros para mejorar la resistencia a altas temperaturas, o se pueden utilizar materiales de relleno para mejorar la resistencia a bajas temperaturas como podrían ser agentes reductores de agua o Fibras Naturales como la Fibra del Coco que ayuda como refuerzo en asfalto que ofrece una excelente resistencia y durabilidad entre otros. Además, se pueden utilizar técnicas de mantenimiento preventivo, como el sellado de fisuras y grietas, para evitar que el agua penetre en el pavimento y lo dañe aún más.
- Dado que las instituciones estatales del Ecuador como INAHMI no tiene liberado la información de manera pública sobre los datos de temperatura, se recomienda a los futuros investigadores utilizar el programa Power Data de la NASA, para poder realizar los cálculos del Grado de Desempeño (PG) basados en la clasificación SUPERPAVE. Al extraer información de las bases de datos de la NASA, se debe validar con lo obtenido en campo para que sea confiable y adecuado para su uso en modelos de estimación.

## BIBLIOGRAFÍA

Asfalto. (2023). *Ferrovial*. Obtenido de

<https://www.ferrovial.com/es/recursos/asfalto/#:~:text=El%20asfalto%20es%20una%20sustancia,el%20que%20utilizamos%20es%20artificial>

Asfálticos del MTC y AASHTO 93. 10.13140/RG.2.1.5073.7681.

Botasso, G. (25 de Septiembre de 2012). *Tecnologías constructivas*. Obtenido de Utilización de caucho de neumáticos en mezcla asfáltica densa en obras de infraestructura:

[https://www.academia.edu/59852550/Utilizaci%C3%B3n\\_de\\_caucho\\_de\\_neum%C3%A1ticos\\_enmezcla\\_asf%C3%A1ltica\\_densa\\_enobras\\_de\\_infraestructura](https://www.academia.edu/59852550/Utilizaci%C3%B3n_de_caucho_de_neum%C3%A1ticos_enmezcla_asf%C3%A1ltica_densa_enobras_de_infraestructura)

Cárdenas, J., & Fonseca, E. (2009). MODELACIÓN DEL COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE ASFALTO CONVENCIONAL Y MODIFICADO CON POLÍMERO RECICLADO, ESTUDIADA DESDE LA RELACIÓN VISCOSIDAD-TEMPERATURA. In Revista EIA.

Chuco Sullca, L. (s.f.). *Scribd*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/333209728/Asfalto-Convencional#>

El Pavimento. (Diciembre de 2012). *Arqhys*. Obtenido de

<https://www.arqhys.com/contenidos/pavimento-concepto.html>

Del Aguila Rodriguez, P. (2000). *EXPERIENCIAS SOBRE EL DISEÑO Y CRITERIOS PARA LA CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS EN ZONAS DE ALTURA*.

Garnica Anguas, P., Delgado Alamilla, H., & Sandoval Sandoval, C. (2005). *Imt*. Obtenido de

<https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt271.pdf>

Garnica Anguas, P., Flores Flores, M., Gómez López, J. A., & Delgado Alamilla, H. (2005). *Imt*.

Obtenido de <https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt267.pdf>

Historia de Asfalto. (2023). *Vise*. Obtenido de <https://blog.vise.com.mx/infografia-breve-historia-del-asfalto#:~:text=Seg%C3%BAAn%20investigaciones%20de%20especialistas%2C%20se,cerca%20del%20a%C3%B1o%202500%20A.C>

Kopalakrishnan, R. (Abril de 2016). *Researchgate*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/305985128\\_Evaluating\\_the\\_Quality\\_of\\_Asphalt\\_Mixtures\\_Using\\_the\\_Superpave\\_Gyratory\\_Compactor](https://www.researchgate.net/publication/305985128_Evaluating_the_Quality_of_Asphalt_Mixtures_Using_the_Superpave_Gyratory_Compactor)

Kwame Agbovi, H. (27 de Febrero de 2013). *Amazon*. Obtenido de <https://www.amazon.es/Thermal-Fatigue-Cracking-Asphalt-Pavements/dp/3659338605>

Lopez Montero Teresa, M. R. (2017). *"El daño por humedad en las mezclas asfálticas"*.  
Plataforma Tecnológica Española de la Carretera.

Menendez, Jose. (2015). Incorporación del Efecto del Clima en el Procedimiento de  
Diseño de Pavimentos

NAJARRO IBARRA, P. D., & RAMOS CRISTOBAL, M. J. (2021). *MAPA DE GRADO DE DESEMPEÑO (PG) APLICANDO LOS MODELOS MATEMÁTICOS PARA LIGANTES ASFÁLTICOS SEGÚN CLASIFICACIÓN SUPERPAVE*.

NASA. (2023). POWER-Data Acces Viewer. Obtenido de <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Pavimento Asfáltico. (2023). *Vise*. Obtenido de <https://blog.vise.com.mx/qu%C3%A9-es-un-pavimento-flexible-y-cu%C3%A1ndo-conviene-usarlo>

Pavimento Flexible. (6 de Junio de 2012). *Urbanismo*. Obtenido de <https://www.urbanismo.com/pavimentos-flexibles/>

Pavimento Rígido. (14 de Enero de 2019). *Alicaresp*. Obtenido de <http://alicaresp.com/2019/01/14/conceptos-basicos-de-pavimentos/>

Pavimentos. (02 de Noviembre de 2022). *Construneic*. Obtenido de

<https://construneic.com/pavimentos/pavimento-flexible/>

Pavimentos flexibles y pavimentos rígidos. (s.f.). *UNIFORT*. Obtenido de PAVIMENTOS

INDUSTRIALES: <https://www.unifort.es/pavimentos-hormigon/pavimentos-flexibles-rigidos/>

PUCE. (04 de 10 de 2022). *bioweb.bio*. Obtenido de bioweb.bio:

<https://bioweb.bio/faunaweb/mammaliaweb/GeografiaClima/>

Reyes Lizcano, F. A. (Noviembre de 2003). *La Libreria del Ingeniero*. Obtenido de Diseño

Racional de Pavimentos:

<file:///C:/Users/DELL/Downloads/Dise%C3%B1o%20Racional%20de%20Pavimentos%20-%20Fredy%20Alberto%20Reyes%20Lizcano/Dise%C3%B1o%20Racional%20de%20Pavimentos%20-%20Fredy%20Alberto%20Reyes%20Lizcano.pdf>

Salazar, L., & Loria, G. (2013.). *DESARROLLO DE LA GUIA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS DE COSTA RICA:CR\_ME*.

Serrano, C. (03 de Junio de 2015). *Interempresas*. Obtenido de Interempresas:

<https://www.interempresas.net/ObrasPublicas/Articulos/138111-Refuerzo-de-asfalto-mediante-geomallas-para-alargar-la-vida-util-de-las-carreteras.html>

Tipos de Pavimentos. (2022). *BYOND*. Obtenido de <https://www.byond.es/blog/tipos-de-pavimentos/>

Torres, R., & Eduardo Sebastián. (Octubre de 2018). *Umich*. Obtenido de

[http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB\\_UMICH/3144](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/3144)

UNIFORT. (2023). Obtenido de <https://www.unifort.es/pavimentos-hormigon/pavimentos-flexibles-rigidos/>

Valdes, V., & Perez Jimenez. (2012). *La fisuración en pavimentos asfálticos y sus mecanismos de deterioro.*

WordPress.com. (2020). *WordPress.com*. Obtenido de WordPress.com:

<https://sierraecuador.wordpress.com/clima/>

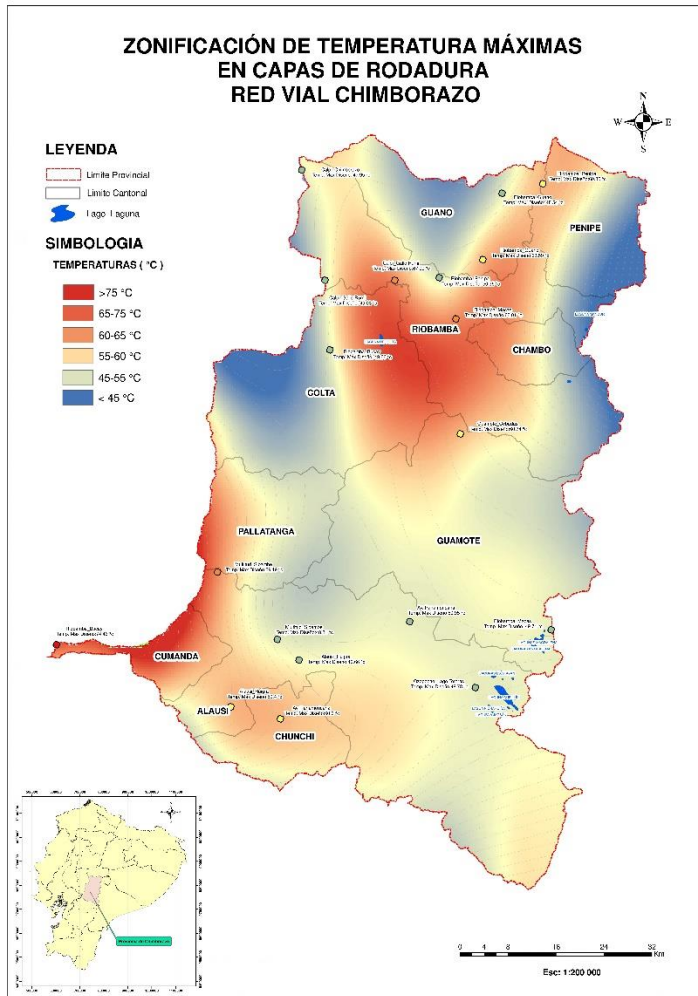
Yarango, E. (2014). “*REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA DE ACCESO A LA SOCIEDAD MINERA CERRO VERDE (S.M.C.V) DESDE LA PROG. KM 0+000 HASTA EL KM 1+900, EN EL DISTRITO DE UCHUMAYO, AREQUIPA, AREQUIPA. EMPLEANDO EL SISTEMA BITUFOR PARA REDUCIR LA REFLEXIÓN DE GRIETAS Y PROLONGAR LA VIDA ÚTIL DEL PAVIMENTO.*”

Zhang, G., Zhang, J., Yuan, J., & Ye, S. (06 de Marzo de 2023). *Mdpi*. Obtenido de

<https://www.mdpi.com/2075-5309/13/3/686>

# ANEXOS

## Anexo 1: Zonificación de Temperatura máxima Red vial Chimborazo



Anexo 2:Codigo QR – Zonificación de Temperaturas Máximas Red Vial Chimborazo



Fuente: (Quinabanda&Rea, 2023)

**Anexo 3:** Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°) – Riobamba\_Guano – Zona Altas

Años	Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°)							PROMEDIO
	1	2	3	4	5	6	7	
2002	17.36	17.1	17.23	17.34	16.71	16.82	16.03	16.94
2003	15.58	14.92	15.96	15.43	16.62	16.26	17.03	15.97
2004	17.65	15.26	15.36	16.54	14.96	15.51	16.39	15.95
2005	17.59	15.55	15.33	18.61	15.77	18.15	18.24	17.03
2006	17.79	18.15	17.84	17.99	16.51	15.31	16.16	17.11
2007	18.58	18.61	18.44	17.42	17.79	18.59	18.3	18.25
2008	15.53	16.07	15.59	15.48	15.32	14.48	15.63	15.44
2009	17.37	17.74	16.67	16.8	16.21	16.09	16.29	16.74
2010	18.85	18.53	17.25	18.42	17.77	16.96	15.63	17.63
2011	17.69	17.54	18.33	17.07	12.71	17.04	16	16.63
2012	16.17	15.62	15.69	15.51	16.21	15.04	15.55	15.68
2013	16.3	15.63	16.18	16.05	15.78	15.01	15.43	15.77
2014	16.17	16.51	16.83	16.12	16.63	16.56	18.14	16.71
2015	15.7	16.6	16.69	16.45	16.2	16.47	15.22	16.19
2016	16.26	16.31	16.62	16.27	16.59	17.15	17.73	16.70
2017	16.18	16.7	17.15	15.6	16.48	15.58	16.3	16.28
2018	16.37	13.73	16.44	15.85	16.3	15.07	15.65	15.63
2019	15.83	16.65	17.17	16.69	17.31	15.91	16.9	16.64
2020	17.82	17.32	16.58	16.98	16.69	17.01	16.63	17.00
2021	15.98	15.19	15.76	15.77	16.48	17.29	17.26	16.25
2022	16.18	15.87	15.24	14.87	15.83	16.34	17.05	15.91

Fuente:(NASA, 2023)

**Anexo 4:** Temperaturas máximas y mínimas – Zona Altas – Riobamba\_Guano

RIOBAMBA_GUANO		
Años	Temp. Minima (°C)	Temp. Maxima (°C)
2002	3.28	16.94
2003	3.7	15.97
2004	3.59	15.95
2005	4.54	17.03
2006	1.7	17.11
2007	5.75	18.25
2008	3.11	15.44
2009	5.63	16.74
2010	4.49	17.63
2011	3.33	16.63
2012	3.97	15.68
2013	3.49	15.77



2014	4.58	16.71
2015	5.26	16.19
2016	4.78	16.70
2017	3.98	16.28
2018	2.24	15.63
2019	4.4	16.64
2020	3.37	17.00
2021	3.59	16.25
2022	3.04	15.91

Fuente:(NASA, 2023)

**Anexo 5:** Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°) – Riobamba\_Macas–  
Zona Altas

Años	Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°)							PROMEDIO
	1	2	3	4	5	6	7	
2002	17.48	17.24	17.4	17.56	17.12	17.02	16.29	17.16
2003	15.68	14.92	15.8	15.76	17.07	16.32	17.53	16.15
2004	17.65	15.53	15.83	17.19	15.14	15.46	16.41	16.17
2005	17.59	15.77	15.03	19	15.38	17.68	18.62	17.01
2006	18.04	18.55	18.01	18.13	17.19	15.87	17.07	17.55
2007	18.62	18.2	18.6	17.75	17.87	19.06	18.69	18.40
2008	15.77	16.32	16.17	15.88	15.4	14.37	16.11	15.72
2009	18.1	18.3	17.24	17.57	16.45	15.17	16.4	17.03
2010	19.24	19.05	18.08	18.7	18.3	17.29	16.33	18.14
2011	17.63	17.73	19.25	18.41	14.32	17.24	16.58	17.31
2012	16.36	16.05	15.95	15.92	16.73	15.38	16.02	16.06
2013	16.71	15.9	16.49	16.29	15.67	15.73	15.49	16.04
2014	16.63	16.95	17.14	16.14	16.87	16.61	18.86	17.03
2015	16.23	17.07	17.17	16.61	16.53	16.76	14.9	16.47
2016	16.27	16.7	16.93	15.73	16.52	17.33	18	16.78
2017	17.3	17.42	17.44	15.28	16.92	15.78	16.88	16.72
2018	17.23	14.48	16.98	16.63	17.01	15.23	16.02	16.23
2019	15.9	17.08	17.71	18.04	18.26	16.84	17.27	17.30
2020	18.02	17.5	16.74	17.31	16.62	16.98	16.56	17.10
2021	16.08	14.9	15.84	15.97	16.72	17.71	17.74	16.42
2022	16.14	15.98	15.12	14.8	16.12	16.7	17.64	16.07

Fuente:(NASA, 2023)

**Anexo 6:** Temperaturas máximas y mínimas – Zona Altas – Riobamba\_Macas

RIOBAMBA_MACAS		
Años	Temp. Minima (°C)	Temp. Maxima (°C)
2002	3.22	17.16
2003	3.57	16.15

2004	4.39	16.17
2005	5.3	17.01
2006	1.76	17.55
2007	5.67	18.40
2008	2.99	15.72
2009	5.83	17.03
2010	4.84	18.14
2011	3.4	17.31
2012	4.27	16.06
2013	3.65	16.04
2014	4.66	17.03
2015	5.12	16.47
2016	4.58	16.78
2017	3.8	16.72
2018	2.28	16.23
2019	3.45	17.30
2020	3.41	17.10
2021	3.92	16.42
2022	2.8	16.07

Fuente:(NASA, 2023)

**Anexo 7:** Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°) – Riobamba\_Penipe–  
Zona Altas

Años	Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°)							PROMEDIO
	1	2	3	4	5	6	7	
2002	17.36	17.1	17.23	17.34	16.71	16.82	16.03	16.94
2003	15.58	14.92	15.96	15.43	16.62	16.26	17.03	15.97
2004	17.65	15.26	15.36	16.54	14.96	15.51	16.39	15.95
2005	17.59	15.55	15.33	18.61	15.77	18.15	18.24	17.03
2006	17.79	18.15	17.84	17.99	16.51	15.31	16.16	17.11
2007	18.58	18.61	18.44	17.42	17.79	18.59	18.3	18.25
2008	15.53	16.07	15.59	15.48	15.32	14.48	15.63	15.44
2009	17.37	17.74	16.67	16.8	16.21	16.09	16.29	16.74
2010	18.85	18.53	17.25	18.42	17.77	16.96	15.63	17.63
2011	17.69	17.54	18.33	17.07	12.71	17.04	16	16.63
2012	16.17	15.62	15.69	15.51	16.21	15.04	15.55	15.68
2013	16.3	15.63	16.18	16.05	15.78	15.01	15.43	15.77
2014	16.17	16.51	16.83	16.12	16.63	16.56	18.14	16.71
2015	15.7	16.6	16.69	16.45	16.2	16.47	15.22	16.19
2016	16.26	16.31	16.62	16.27	16.59	17.15	17.73	16.70
2017	16.18	16.7	17.15	15.6	16.48	15.58	16.3	16.28
2018	16.37	13.73	16.44	15.85	16.3	15.07	15.65	15.63
2019	15.83	16.65	17.17	16.69	17.31	15.91	16.9	16.64
2020	17.82	17.32	16.58	16.98	16.69	17.01	16.63	17.00

2021	15.98	15.19	15.76	15.77	16.48	17.29	17.26	16.25
2022	16.18	15.87	15.24	14.87	15.83	16.34	17.05	15.91

Fuente:(NASA, 2023)

**Anexo 8:** Temperaturas máximas y mínimas – Zona Altas – Riobamba\_Penipe

RIOBAMBA_PENIPE		
Años	Temp. Minima (°C)	Temp. Maxima (°C)
2002	3.28	16.94
2003	3.7	15.97
2004	3.59	15.95
2005	4.54	17.03
2006	1.7	17.11
2007	5.75	18.25
2008	3.11	15.44
2009	5.63	16.74
2010	4.49	17.63
2011	3.33	16.63
2012	3.97	15.68
2013	3.49	15.77
2014	4.58	16.71
2015	5.26	16.19
2016	4.78	16.70
2017	3.98	16.28
2018	2.24	15.63
2019	4.4	16.64
2020	3.37	17.00
2021	3.59	16.25
2022	3.04	15.91

Fuente:(NASA, 2023)

**Anexo 9:** Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°) – Riobamba\_Cumanda(Bucay) – Zona Altas

Años	Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°)							PROMEDIO
	1	2	3	4	5	6	7	
2002	17.48	17.24	17.4	17.56	17.12	17.02	16.29	17.16
2003	15.68	14.92	15.8	15.76	17.07	16.32	17.53	16.15
2004	17.65	15.53	15.83	17.19	15.14	15.46	16.41	16.17
2005	17.59	15.77	15.03	19	15.38	17.68	18.62	17.01
2006	18.04	18.55	18.01	18.13	17.19	15.87	17.07	17.55
2007	18.62	18.2	18.6	17.75	17.87	19.06	18.69	18.40
2008	15.77	16.32	16.17	15.88	15.4	14.37	16.11	15.72
2009	18.1	18.3	17.24	17.57	16.45	15.17	16.4	17.03

2010	19.24	19.05	18.08	18.7	18.3	17.29	16.33	18.14
2011	17.63	17.73	19.25	18.41	14.32	17.24	16.58	17.31
2012	16.36	16.05	15.95	15.92	16.73	15.38	16.02	16.06
2013	16.71	15.9	16.49	16.29	15.67	15.73	15.49	16.04
2014	16.63	16.95	17.14	16.14	16.87	16.61	18.86	17.03
2015	16.23	17.07	17.17	16.61	16.53	16.76	14.9	16.47
2016	16.27	16.7	16.93	15.73	16.52	17.33	18	16.78
2017	17.3	17.42	17.44	15.28	16.92	15.78	16.88	16.72
2018	17.23	14.48	16.98	16.63	17.01	15.23	16.02	16.23
2019	15.9	17.08	17.71	18.04	18.26	16.84	17.27	17.30
2020	18.02	17.5	16.74	17.31	16.62	16.98	16.56	17.10
2021	16.08	14.9	15.84	15.97	16.72	17.71	17.74	16.42
2022	16.14	15.98	15.12	14.8	16.12	16.7	17.64	16.07

Fuente:(NASA, 2023)

**Anexo 10:** Temperaturas máximas y mínimas – Zona Altas –  
Riobamba\_Cumanda(Bucay)

RIOBAMBA_BUCAY		
Años	Temp. Minima (°C)	Temp. Maxima (°C)
2002	3.22	17.16
2003	3.57	16.15
2004	4.39	16.17
2005	5.3	17.01
2006	1.76	17.55
2007	5.67	18.40
2008	2.99	15.72
2009	5.83	17.03
2010	4.84	18.14
2011	3.4	17.31
2012	4.27	16.06
2013	3.65	16.04
2014	4.66	17.03
2015	5.12	16.47
2016	4.58	16.78
2017	3.8	16.72
2018	2.28	16.23
2019	3.45	17.30
2020	3.41	17.10
2021	3.92	16.42
2022	2.8	16.07

Fuente:(NASA, 2023)

**Anexo 11:** Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°) – Calpi\_Chimborazo–  
Zona Altas

Años	Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°)							PROMEDIO
	1	2	3	4	5	6	7	
2002	17.36	17.1	17.23	17.34	16.71	16.82	16.03	16.94
2003	15.58	14.92	15.96	15.43	16.62	16.26	17.03	15.97
2004	17.65	15.26	15.36	16.54	14.96	15.51	16.39	15.95
2005	17.59	15.55	15.33	18.61	15.77	18.15	18.24	17.03
2006	17.79	18.15	17.84	17.99	16.51	15.31	16.16	17.11
2007	18.58	18.61	18.44	17.42	17.79	18.59	18.3	18.25
2008	15.53	16.07	15.59	15.48	15.32	14.48	15.63	15.44
2009	17.37	17.74	16.67	16.8	16.21	16.09	16.29	16.74
2010	18.85	18.53	17.25	18.42	17.77	16.96	15.63	17.63
2011	17.69	17.54	18.33	17.07	12.71	17.04	16	16.63
2012	16.17	15.62	15.69	15.51	16.21	15.04	15.55	15.68
2013	16.3	15.63	16.18	16.05	15.78	15.01	15.43	15.77
2014	16.17	16.51	16.83	16.12	16.63	16.56	18.14	16.71
2015	15.7	16.6	16.69	16.45	16.2	16.47	15.22	16.19
2016	16.26	16.31	16.62	16.27	16.59	17.15	17.73	16.70
2017	16.18	16.7	17.15	15.6	16.48	15.58	16.3	16.28
2018	16.37	13.73	16.44	15.85	16.3	15.07	15.65	15.63
2019	15.83	16.65	17.17	16.69	17.31	15.91	16.9	16.64
2020	17.82	17.32	16.58	16.98	16.69	17.01	16.63	17.00
2021	15.98	15.19	15.76	15.77	16.48	17.29	17.26	16.25
2022	16.18	15.87	15.24	14.87	15.83	16.34	17.05	15.91

Fuente:(NASA, 2023)

**Anexo 12:** Temperaturas máximas y mínimas – Zona Altas – Calpi\_Chimborazo

RIOBAMBA_CHIMBORAZO		
Años	Temp. Minima (°C)	Temp. Maxima (°C)
2002	3.28	16.94
2003	3.7	15.97
2004	3.59	15.95
2005	4.54	17.03
2006	1.7	17.11
2007	5.75	18.25
2008	3.11	15.44
2009	5.63	16.74
2010	4.49	17.63
2011	3.33	16.63
2012	3.97	15.68
2013	3.49	15.77

2014	4.58	16.71
2015	5.26	16.19
2016	4.78	16.70
2017	3.98	16.28
2018	2.24	15.63
2019	4.4	16.64
2020	3.37	17.00
2021	3.59	16.25
2022	3.04	15.91

Fuente:(NASA, 2023)

**Anexo 13:** Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°) – Riobamba\_Gallo Rumi– Zona Altas

Años	Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°)							PROMEDIO
	1	2	3	4	5	6	7	
2002	17.36	17.1	17.23	17.34	16.71	16.82	16.03	16.94
2003	15.58	14.92	15.96	15.43	16.62	16.26	17.03	15.97
2004	17.65	15.26	15.36	16.54	14.96	15.51	16.39	15.95
2005	17.59	15.55	15.33	18.61	15.77	18.15	18.24	17.03
2006	17.79	18.15	17.84	17.99	16.51	15.31	16.16	17.11
2007	18.58	18.61	18.44	17.42	17.79	18.59	18.3	18.25
2008	15.53	16.07	15.59	15.48	15.32	14.48	15.63	15.44
2009	17.37	17.74	16.67	16.8	16.21	16.09	16.29	16.74
2010	18.85	18.53	17.25	18.42	17.77	16.96	15.63	17.63
2011	17.69	17.54	18.33	17.07	12.71	17.04	16	16.63
2012	16.17	15.62	15.69	15.51	16.21	15.04	15.55	15.68
2013	16.3	15.63	16.18	16.05	15.78	15.01	15.43	15.77
2014	16.17	16.51	16.83	16.12	16.63	16.56	18.14	16.71
2015	15.7	16.6	16.69	16.45	16.2	16.47	15.22	16.19
2016	16.26	16.31	16.62	16.27	16.59	17.15	17.73	16.70
2017	16.18	16.7	17.15	15.6	16.48	15.58	16.3	16.28
2018	16.37	13.73	16.44	15.85	16.3	15.07	15.65	15.63
2019	15.83	16.65	17.17	16.69	17.31	15.91	16.9	16.64
2020	17.82	17.32	16.58	16.98	16.69	17.01	16.63	17.00
2021	15.98	15.19	15.76	15.77	16.48	17.29	17.26	16.25
2022	16.18	15.87	15.24	14.87	15.83	16.34	17.05	15.91

Fuente:(NASA, 2023)

**Anexo 14:** Temperaturas máximas y mínimas – Zona Altas – Riobamba\_Gallo Rumi

RIOBAMBA_GALLO RUMI		
Años	Temp. Minima (°C)	Temp. Maxima (°C)
2002	3.28	16.94
2003	3.7	15.97
2004	3.59	15.95
2005	4.54	17.03
2006	1.7	17.11
2007	5.75	18.25
2008	3.11	15.44
2009	5.63	16.74
2010	4.49	17.63
2011	3.33	16.63
2012	3.97	15.68
2013	3.49	15.77
2014	4.58	16.71
2015	5.26	16.19
2016	4.78	16.70
2017	3.98	16.28
2018	2.24	15.63
2019	4.4	16.64
2020	3.37	17.00
2021	3.59	16.25
2022	3.04	15.91

Fuente:(NASA, 2023)

**Anexo 15:** Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°) – Av. Panamericana – Zona Altas

Años	Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°)							PROMEDIO
	1	2	3	4	5	6	7	
2002	17.48	17.24	17.4	17.56	17.12	17.02	16.29	17.16
2003	15.68	14.92	15.8	15.76	17.07	16.32	17.53	16.15
2004	17.65	15.53	15.83	17.19	15.14	15.46	16.41	16.17
2005	17.59	15.77	15.03	19	15.38	17.68	18.62	17.01
2006	18.04	18.55	18.01	18.13	17.19	15.87	17.07	17.55
2007	18.62	18.2	18.6	17.75	17.87	19.06	18.69	18.40
2008	15.77	16.32	16.17	15.88	15.4	14.37	16.11	15.72
2009	18.1	18.3	17.24	17.57	16.45	15.17	16.4	17.03
2010	19.24	19.05	18.08	18.7	18.3	17.29	16.33	18.14
2011	17.63	17.73	19.25	18.41	14.32	17.24	16.58	17.31
2012	16.36	16.05	15.95	15.92	16.73	15.38	16.02	16.06
2013	16.71	15.9	16.49	16.29	15.67	15.73	15.49	16.04

2014	16.63	16.95	17.14	16.14	16.87	16.61	18.86	17.03
2015	16.23	17.07	17.17	16.61	16.53	16.76	14.9	16.47
2016	16.27	16.7	16.93	15.73	16.52	17.33	18	16.78
2017	17.3	17.42	17.44	15.28	16.92	15.78	16.88	16.72
2018	17.23	14.48	16.98	16.63	17.01	15.23	16.02	16.23
2019	15.9	17.08	17.71	18.04	18.26	16.84	17.27	17.30
2020	18.02	17.5	16.74	17.31	16.62	16.98	16.56	17.10
2021	16.08	14.9	15.84	15.97	16.72	17.71	17.74	16.42
2022	16.14	15.98	15.12	14.8	16.12	16.7	17.64	16.07

Fuente:(NASA, 2023)

**Anexo 16:** Temperaturas máximas y mínimas – Zona Altas – Av Panamericana

AV. PANAMERICANA		
Años	Temp. Minima (°C)	Temp. Maxima (°C)
2002	3.22	17.16
2003	3.57	16.15
2004	4.39	16.17
2005	5.3	17.01
2006	1.76	17.55
2007	5.67	18.40
2008	2.99	15.72
2009	5.83	17.03
2010	4.84	18.14
2011	3.4	17.31
2012	4.27	16.06
2013	3.65	16.04
2014	4.66	17.03
2015	5.12	16.47
2016	4.58	16.78
2017	3.8	16.72
2018	2.28	16.23
2019	3.45	17.30
2020	3.41	17.10
2021	3.92	16.42
2022	2.8	16.07

Fuente:(NASA, 2023)



**Anexo 17:** Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°) – Multitud\_Sibambe–  
Zona Altas

Años	Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°)							PROMEDIO
	1	2	3	4	5	6	7	
2002	17.48	17.24	17.4	17.56	17.12	17.02	16.29	17.16
2003	15.68	14.92	15.8	15.76	17.07	16.32	17.53	16.15
2004	17.65	15.53	15.83	17.19	15.14	15.46	16.41	16.17
2005	17.59	15.77	15.03	19	15.38	17.68	18.62	17.01
2006	18.04	18.55	18.01	18.13	17.19	15.87	17.07	17.55
2007	18.62	18.2	18.6	17.75	17.87	19.06	18.69	18.40
2008	15.77	16.32	16.17	15.88	15.4	14.37	16.11	15.72
2009	18.1	18.3	17.24	17.57	16.45	15.17	16.4	17.03
2010	19.24	19.05	18.08	18.7	18.3	17.29	16.33	18.14
2011	17.63	17.73	19.25	18.41	14.32	17.24	16.58	17.31
2012	16.36	16.05	15.95	15.92	16.73	15.38	16.02	16.06
2013	16.71	15.9	16.49	16.29	15.67	15.73	15.49	16.04
2014	16.63	16.95	17.14	16.14	16.87	16.61	18.86	17.03
2015	16.23	17.07	17.17	16.61	16.53	16.76	14.9	16.47
2016	16.27	16.7	16.93	15.73	16.52	17.33	18	16.78
2017	17.3	17.42	17.44	15.28	16.92	15.78	16.88	16.72
2018	17.23	14.48	16.98	16.63	17.01	15.23	16.02	16.23
2019	15.9	17.08	17.71	18.04	18.26	16.84	17.27	17.30
2020	18.02	17.5	16.74	17.31	16.62	16.98	16.56	17.10
2021	16.08	14.9	15.84	15.97	16.72	17.71	17.74	16.42
2022	16.14	15.98	15.12	14.8	16.12	16.7	17.64	16.07

Fuente:(NASA, 2023)

**Anexo 18:** Temperaturas máximas y mínimas – Zona Altas – Multitud\_Sibambe

MULTITUD_SIBAMBE		
Años	Temp. Minima (°C)	Temp. Maxima (°C)
2002	3.22	17.16
2003	3.57	16.15
2004	4.39	16.17
2005	5.3	17.01
2006	1.76	17.55
2007	5.67	18.40
2008	2.99	15.72
2009	5.83	17.03
2010	4.84	18.14
2011	3.4	17.31
2012	4.27	16.06
2013	3.65	16.04

2014	4.66	17.03
2015	5.12	16.47
2016	4.58	16.78
2017	3.8	16.72
2018	2.28	16.23
2019	3.45	17.30
2020	3.41	17.10
2021	3.92	16.42
2022	2.8	16.07

Fuente:(NASA, 2023)

**Anexo 19:** Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°) – Ozogoche\_Totoras – Zona Altas

Años	Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°)							PROMEDIO
	1	2	3	4	5	6	7	
2002	17.4	17.51	17.16	17.9	17.44	17.62	17.01	17.43
2003	15.35	15.04	15.33	16.3	17.22	16.08	17.76	16.15
2004	17.69	16.24	16.38	17.32	15.58	15.78	16.27	16.47
2005	17.84	16.01	15.8	18.98	15.6	17.37	18.76	17.19
2006	17.69	18.47	17.98	17.99	18.23	17.82	17.38	17.94
2007	19.23	18.38	19.15	18.01	17.92	19.17	18.61	18.64
2008	15.86	16.41	16.32	15.58	15.16	14.53	16.22	15.73
2009	18.32	18.68	17.73	17.85	16.48	14.84	17.01	17.27
2010	19.43	19.61	18.73	19.17	18.87	18.07	17.56	18.78
2011	16.54	17.21	19.23	18.52	15.58	16.52	16.67	17.18
2012	15.85	16.35	16.42	16.48	17.19	15.65	16.33	16.32
2013	17.06	16.61	17.05	16.76	16.25	16.06	15.8	16.51
2014	17.34	17.64	17.09	16.51	17.03	16.87	19.01	17.36
2015	16.81	17.33	17.4	16.76	16.95	16.92	15.24	16.77
2016	16.32	16.51	16.9	16.2	17.12	17.63	18.19	16.98
2017	17.41	17.54	17.25	15.68	17.44	16.12	17.3	16.96
2018	17.73	15.99	17.29	16.66	17.42	15.58	16.05	16.67
2019	16.01	17.37	17.53	18.49	17.67	17.09	17.48	17.38
2020	18.14	17.31	17.15	17.55	16.62	17.23	16.58	17.23
2021	15.94	15.39	15.98	16.28	17.08	17.85	18.11	16.66
2022	16.49	16.4	15.75	14.94	16.3	16.82	17.89	16.37

Fuente:(NASA, 2023)

**Anexo 20:** Temperaturas máximas y mínimas – Zona Altas – Ozogoche\_Totoras

Años	Temp. Minima (°C)	Temp. Maxima (°C)
2002	3.88	17.43

2003	5.14	16.15
2004	4.79	16.47
2005	6.01	17.19
2006	2.94	17.94
2007	5.92	18.64
2008	3.89	15.73
2009	6.48	17.27
2010	5.9	18.78
2011	4.43	17.18
2012	5.04	16.32
2013	4.41	16.51
2014	5.04	17.36
2015	5.74	16.77
2016	5.4	16.98
2017	4.95	16.96
2018	3.08	16.67
2019	4.38	17.38
2020	5.24	17.23
2021	4.88	16.66
2022	3.94	16.37

Fuente:(NASA, 2023)

**Anexo 21:** Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°) – Alausí\_Huigra – Zona Altas

Años	Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°)							PROMEDIO
	1	2	3	4	5	6	7	
2002	17.48	17.24	17.4	17.56	17.12	17.02	16.29	17.16
2003	15.68	14.92	15.8	15.76	17.07	16.32	17.53	16.15
2004	17.65	15.53	15.83	17.19	15.14	15.46	16.41	16.17
2005	17.59	15.77	15.03	19	15.38	17.68	18.62	17.01
2006	18.04	18.55	18.01	18.13	17.19	15.87	17.07	17.55
2007	18.62	18.2	18.6	17.75	17.87	19.06	18.69	18.40
2008	15.77	16.32	16.17	15.88	15.4	14.37	16.11	15.72
2009	18.1	18.3	17.24	17.57	16.45	15.17	16.4	17.03
2010	19.24	19.05	18.08	18.7	18.3	17.29	16.33	18.14
2011	17.63	17.73	19.25	18.41	14.32	17.24	16.58	17.31
2012	16.36	16.05	15.95	15.92	16.73	15.38	16.02	16.06
2013	16.71	15.9	16.49	16.29	15.67	15.73	15.49	16.04
2014	16.63	16.95	17.14	16.14	16.87	16.61	18.86	17.03
2015	16.23	17.07	17.17	16.61	16.53	16.76	14.9	16.47
2016	16.27	16.7	16.93	15.73	16.52	17.33	18	16.78
2017	17.3	17.42	17.44	15.28	16.92	15.78	16.88	16.72
2018	17.23	14.48	16.98	16.63	17.01	15.23	16.02	16.23
2019	15.9	17.08	17.71	18.04	18.26	16.84	17.27	17.30

2020	18.02	17.5	16.74	17.31	16.62	16.98	16.56	17.10
2021	16.08	14.9	15.84	15.97	16.72	17.71	17.74	16.42
2022	16.14	15.98	15.12	14.8	16.12	16.7	17.64	16.07

Fuente:(NASA, 2023)

**Anexo 22:** Temperaturas máximas y mínimas – Zona Altas – Alausí\_Huigra

ALAUISI_HUIGRA		
Años	Temp. Minima (°C)	Temp. Maxima (°C)
2002	3.22	17.16
2003	3.57	16.15
2004	4.39	16.17
2005	5.3	17.01
2006	1.76	17.55
2007	5.67	18.40
2008	2.99	15.72
2009	5.83	17.03
2010	4.84	18.14
2011	3.4	17.31
2012	4.27	16.06
2013	3.65	16.04
2014	4.66	17.03
2015	5.12	16.47
2016	4.58	16.78
2017	3.8	16.72
2018	2.28	16.23
2019	3.45	17.30
2020	3.41	17.10
2021	3.92	16.42
2022	2.8	16.07

Fuente:(NASA, 2023)

**Anexo 23:** Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°) – Riobamba\_Guano – Zona Bajas

Años	Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°)							PROMEDIO
	1	2	3	4	5	6	7	
2002	17.36	17.1	17.23	17.34	16.71	16.82	16.03	16.94
2003	15.58	14.92	15.96	15.43	16.62	16.26	17.03	15.97
2004	17.65	15.26	15.36	16.54	14.96	15.51	16.39	15.95
2005	17.59	15.55	15.33	18.61	15.77	18.15	18.24	17.03

2006	17.79	18.15	17.84	17.99	16.51	15.31	16.16	17.11
2007	18.58	18.61	18.44	17.42	17.79	18.59	18.3	18.25
2008	15.53	16.07	15.59	15.48	15.32	14.48	15.63	15.44
2009	17.37	17.74	16.67	16.8	16.21	16.09	16.29	16.74
2010	18.85	18.53	17.25	18.42	17.77	16.96	15.63	17.63
2011	17.69	17.54	18.33	17.07	12.71	17.04	16	16.63
2012	16.17	15.62	15.69	15.51	16.21	15.04	15.55	15.68
2013	16.3	15.63	16.18	16.05	15.78	15.01	15.43	15.77
2014	16.17	16.51	16.83	16.12	16.63	16.56	18.14	16.71
2015	15.7	16.6	16.69	16.45	16.2	16.47	15.22	16.19
2016	16.26	16.31	16.62	16.27	16.59	17.15	17.73	16.70
2017	16.18	16.7	17.15	15.6	16.48	15.58	16.3	16.28
2018	16.37	13.73	16.44	15.85	16.3	15.07	15.65	15.63
2019	15.83	16.65	17.17	16.69	17.31	15.91	16.9	16.64
2020	17.82	17.32	16.58	16.98	16.69	17.01	16.63	17.00
2021	15.98	15.19	15.76	15.77	16.48	17.29	17.26	16.25
2022	16.18	15.87	15.24	14.87	15.83	16.34	17.05	15.91

Fuente:(NASA, 2023)

**Anexo 24:** Temperaturas máximas y mínimas – Zona Bajas – Riobamba\_Guano

RIOBAMBA_GUANO		
Años	Temp. Minima (°C)	Temp. Maxima (°C)
2002	3.28	16.94
2003	3.7	15.97
2004	3.59	15.95
2005	4.54	17.03
2006	1.7	17.11
2007	5.75	18.25
2008	3.11	15.44
2009	5.63	16.74
2010	4.49	17.63
2011	3.33	16.63
2012	3.97	15.68
2013	3.49	15.77
2014	4.58	16.71
2015	5.26	16.19
2016	4.78	16.70
2017	3.98	16.28
2018	2.24	15.63
2019	4.4	16.64
2020	3.37	17.00
2021	3.59	16.25
2022	3.04	15.91

Fuente:(NASA, 2023)

**Anexo 25:** Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°) – Riobamba\_Maacas – Zona Bajas

Años	Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°)							PROMEDIO
	1	2	3	4	5	6	7	
2002	17.36	17.1	17.23	17.34	16.71	16.82	16.03	16.94
2003	15.58	14.92	15.96	15.43	16.62	16.26	17.03	15.97
2004	17.65	15.26	15.36	16.54	14.96	15.51	16.39	15.95
2005	17.59	15.55	15.33	18.61	15.77	18.15	18.24	17.03
2006	17.79	18.15	17.84	17.99	16.51	15.31	16.16	17.11
2007	18.58	18.61	18.44	17.42	17.79	18.59	18.3	18.25
2008	15.53	16.07	15.59	15.48	15.32	14.48	15.63	15.44
2009	17.37	17.74	16.67	16.8	16.21	16.09	16.29	16.74
2010	18.85	18.53	17.25	18.42	17.77	16.96	15.63	17.63
2011	17.69	17.54	18.33	17.07	12.71	17.04	16	16.63
2012	16.17	15.62	15.69	15.51	16.21	15.04	15.55	15.68
2013	16.3	15.63	16.18	16.05	15.78	15.01	15.43	15.77
2014	16.17	16.51	16.83	16.12	16.63	16.56	18.14	16.71
2015	15.7	16.6	16.69	16.45	16.2	16.47	15.22	16.19
2016	16.26	16.31	16.62	16.27	16.59	17.15	17.73	16.70
2017	16.18	16.7	17.15	15.6	16.48	15.58	16.3	16.28
2018	16.37	13.73	16.44	15.85	16.3	15.07	15.65	15.63
2019	15.83	16.65	17.17	16.69	17.31	15.91	16.9	16.64
2020	17.82	17.32	16.58	16.98	16.69	17.01	16.63	17.00
2021	15.98	15.19	15.76	15.77	16.48	17.29	17.26	16.25
2022	16.18	15.87	15.24	14.87	15.83	16.34	17.05	15.91

Fuente:(NASA, 2023)

**Anexo 26:** Temperaturas máximas y mínimas – Zona Bajas – Riobamba\_Macas

RIOBAMBA_MACAS		
Años	Temp. Minima (°C)	Temp. Maxima (°C)
2002	3.28	16.94
2003	3.7	15.97
2004	3.59	15.95
2005	4.54	17.03
2006	1.7	17.11
2007	5.75	18.25
2008	3.11	15.44
2009	5.63	16.74
2010	4.49	17.63

2011	3.33	16.63
2012	3.97	15.68
2013	3.49	15.77
2014	4.58	16.71
2015	5.26	16.19
2016	4.78	16.70
2017	3.98	16.28
2018	2.24	15.63
2019	4.4	16.64
2020	3.37	17.00
2021	3.59	16.25
2022	3.04	15.91

Fuente:(NASA, 2023)

**Anexo 27:** Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°) – Riobamba\_Penipe– Zona Bajas

Años	Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°)							PROMEDIO
	1	2	3	4	5	6	7	
2002	17.36	17.1	17.23	17.34	16.71	16.82	16.03	16.94
2003	15.58	14.92	15.96	15.43	16.62	16.26	17.03	15.97
2004	17.65	15.26	15.36	16.54	14.96	15.51	16.39	15.95
2005	17.59	15.55	15.33	18.61	15.77	18.15	18.24	17.03
2006	17.79	18.15	17.84	17.99	16.51	15.31	16.16	17.11
2007	18.58	18.61	18.44	17.42	17.79	18.59	18.3	18.25
2008	15.53	16.07	15.59	15.48	15.32	14.48	15.63	15.44
2009	17.37	17.74	16.67	16.8	16.21	16.09	16.29	16.74
2010	18.85	18.53	17.25	18.42	17.77	16.96	15.63	17.63
2011	17.69	17.54	18.33	17.07	12.71	17.04	16	16.63
2012	16.17	15.62	15.69	15.51	16.21	15.04	15.55	15.68
2013	16.3	15.63	16.18	16.05	15.78	15.01	15.43	15.77
2014	16.17	16.51	16.83	16.12	16.63	16.56	18.14	16.71
2015	15.7	16.6	16.69	16.45	16.2	16.47	15.22	16.19
2016	16.26	16.31	16.62	16.27	16.59	17.15	17.73	16.70
2017	16.18	16.7	17.15	15.6	16.48	15.58	16.3	16.28
2018	16.37	13.73	16.44	15.85	16.3	15.07	15.65	15.63
2019	15.83	16.65	17.17	16.69	17.31	15.91	16.9	16.64
2020	17.82	17.32	16.58	16.98	16.69	17.01	16.63	17.00
2021	15.98	15.19	15.76	15.77	16.48	17.29	17.26	16.25
2022	16.18	15.87	15.24	14.87	15.83	16.34	17.05	15.91

Fuente:(NASA, 2023)

**Anexo 28:** Temperaturas máximas y mínimas – Zona Bajas – Riobamba\_Penipe

RIOBAMBA_PENIPE		
Años	Temp. Minima (°C)	Temp. Maxima (°C)
2002	3.28	16.94
2003	3.7	15.97
2004	3.59	15.95
2005	4.54	17.03
2006	1.7	17.11
2007	5.75	18.25
2008	3.11	15.44
2009	5.63	16.74
2010	4.49	17.63
2011	3.33	16.63
2012	3.97	15.68
2013	3.49	15.77
2014	4.58	16.71
2015	5.26	16.19
2016	4.78	16.70
2017	3.98	16.28
2018	2.24	15.63
2019	4.4	16.64
2020	3.37	17.00
2021	3.59	16.25
2022	3.04	15.91

Fuente:(NASA, 2023)

**Anexo 29:** Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°) – Riobamba\_Cumanda(Bucay) – Zona Bajas

Años	Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°)							PROMEDIO
	1	2	3	4	5	6	7	
2002	28.54	28.02	27.15	27.26	26.52	26.57	27.08	27.31
2003	30.58	30.43	28.42	27.37	28.15	28.33	28.33	28.80
2004	30.82	26.03	27.39	26.08	25.23	26.95	29.58	27.44
2005	29.26	29.84	28.65	31.12	27.59	29.44	29.74	29.38
2006	31.94	29.23	31.09	31.52	29.51	28.41	27.94	29.95
2007	33.21	32.74	31.16	28.48	30.59	29.79	28.54	30.64
2008	27.36	27.04	26.52	24.56	25.45	27.19	25.92	26.29
2009	30.24	30.87	28.61	28.87	31.75	32.86	31.3	30.64
2010	30.29	30.78	29.62	30.78	31.3	31.07	29.2	30.43
2011	28.2	29.13	27.54	26.74	25.44	27.02	26.37	27.21
2012	27.88	27.44	27.98	26.63	26.58	25.53	26.76	26.97
2013	25.33	26.37	28.3	28.77	26.44	25.44	26.71	26.77



2014	29.61	29.31	30.48	30.9	31.9	29.31	30.11	30.23
2015	27.01	27.71	29.05	29.31	29.2	30.19	28.01	28.64
2016	30.49	31.47	31.21	30.26	30.58	30.94	30.67	30.80
2017	24.3	26.53	27.47	28.07	26.56	25.8	27.78	26.64
2018	28.1	27.07	29.83	27.68	29.06	29.38	28.33	28.49
2019	29.17	28.39	27.98	27.71	26.47	27.2	28.65	27.94
2020	30.15	31.25	30.81	30.94	30.4	31.16	31.62	30.90
2021	29.04	28.46	29.08	28.07	29.16	30.3	29.55	29.09
2022	29.12	28.33	28.79	26.05	27.69	28.41	28.65	28.15

Fuente:(NASA, 2023)

**Anexo 30:** Temperaturas máximas y mínimas – Zona Bajas –  
Riobamba\_Cumanda(Bucay)

RIOBAMBA_BUCAY		
Años	Temp. Minima (°C)	Temp. Maxima (°C)
2002	16.65	27.31
2003	16.74	28.80
2004	16.55	27.44
2005	17.51	29.38
2006	16.81	29.95
2007	17.41	30.64
2008	16.56	26.29
2009	17.58	30.64
2010	17.07	30.43
2011	17.62	27.21
2012	16.87	26.97
2013	16.33	26.77
2014	17.78	30.23
2015	17.94	28.64
2016	17.06	30.80
2017	16.92	26.64
2018	15.98	28.49
2019	17.5	27.94
2020	17.36	30.90
2021	16.04	29.09
2022	15.76	28.15

Fuente:(NASA, 2023)

**Anexo 31:** Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°) – Riobamba\_Gallo Rumi – Zona Bajas

Años	Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°)							PROMEDIO
	1	2	3	4	5	6	7	
2002	17.36	17.1	17.23	17.34	16.71	16.82	16.03	16.94
2003	15.58	14.92	15.96	15.43	16.62	16.26	17.03	15.97
2004	17.65	15.26	15.36	16.54	14.96	15.51	16.39	15.95
2005	17.59	15.55	15.33	18.61	15.77	18.15	18.24	17.03
2006	17.79	18.15	17.84	17.99	16.51	15.31	16.16	17.11
2007	18.58	18.61	18.44	17.42	17.79	18.59	18.3	18.25
2008	15.53	16.07	15.59	15.48	15.32	14.48	15.63	15.44
2009	17.37	17.74	16.67	16.8	16.21	16.09	16.29	16.74
2010	18.85	18.53	17.25	18.42	17.77	16.96	15.63	17.63
2011	17.69	17.54	18.33	17.07	12.71	17.04	16	16.63
2012	16.17	15.62	15.69	15.51	16.21	15.04	15.55	15.68
2013	16.3	15.63	16.18	16.05	15.78	15.01	15.43	15.77
2014	16.17	16.51	16.83	16.12	16.63	16.56	18.14	16.71
2015	15.7	16.6	16.69	16.45	16.2	16.47	15.22	16.19
2016	16.26	16.31	16.62	16.27	16.59	17.15	17.73	16.70
2017	16.18	16.7	17.15	15.6	16.48	15.58	16.3	16.28
2018	16.37	13.73	16.44	15.85	16.3	15.07	15.65	15.63
2019	15.83	16.65	17.17	16.69	17.31	15.91	16.9	16.64
2020	17.82	17.32	16.58	16.98	16.69	17.01	16.63	17.00
2021	15.98	15.19	15.76	15.77	16.48	17.29	17.26	16.25
2022	16.18	15.87	15.24	14.87	15.83	16.34	17.05	15.91

Fuente:(NASA, 2023)

**Anexo 32:** Temperaturas máximas y mínimas – Zona Bajas – Riobamba\_Gallo Rumi

RIOBAMBA_GALLO RUMI		
Años	Temp. Minima (°C)	Temp. Maxima (°C)
2002	3.28	16.94
2003	3.7	15.97
2004	3.59	15.95
2005	4.54	17.03
2006	1.7	17.11
2007	5.75	18.25
2008	3.11	15.44
2009	5.63	16.74
2010	4.49	17.63
2011	3.33	16.63
2012	3.97	15.68
2013	3.49	15.77

2014	4.58	16.71
2015	5.26	16.19
2016	4.78	16.70
2017	3.98	16.28
2018	2.24	15.63
2019	4.4	16.64
2020	3.37	17.00
2021	3.59	16.25
2022	3.04	15.91

**Anexo 33:** Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°) – Av. Panamericana – Zona Bajas

Años	Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°)							PROMEDIO
	1	2	3	4	5	6	7	
2002	17.4	17.51	17.16	17.9	17.44	17.62	17.01	17.43
2003	15.35	15.04	15.33	16.3	17.22	16.08	17.76	16.15
2004	17.69	16.24	16.38	17.32	15.58	15.78	16.27	16.47
2005	17.84	16.01	15.8	18.98	15.6	17.37	18.76	17.19
2006	17.69	18.47	17.98	17.99	18.23	17.82	17.38	17.94
2007	19.23	18.38	19.15	18.01	17.92	19.17	18.61	18.64
2008	15.86	16.41	16.32	15.58	15.16	14.53	16.22	15.73
2009	18.32	18.68	17.73	17.85	16.48	14.84	17.01	17.27
2010	19.43	19.61	18.73	19.17	18.87	18.07	17.56	18.78
2011	16.54	17.21	19.23	18.52	15.58	16.52	16.67	17.18
2012	15.85	16.35	16.42	16.48	17.19	15.65	16.33	16.32
2013	17.06	16.61	17.05	16.76	16.25	16.06	15.8	16.51
2014	17.34	17.64	17.09	16.51	17.03	16.87	19.01	17.36
2015	16.81	17.33	17.4	16.76	16.95	16.92	15.24	16.77
2016	16.32	16.51	16.9	16.2	17.12	17.63	18.19	16.98
2017	17.41	17.54	17.25	15.68	17.44	16.12	17.3	16.96
2018	17.73	15.99	17.29	16.66	17.42	15.58	16.05	16.67
2019	16.01	17.37	17.53	18.49	17.67	17.09	17.48	17.38
2020	18.14	17.31	17.15	17.55	16.62	17.23	16.58	17.23
2021	15.94	15.39	15.98	16.28	17.08	17.85	18.11	16.66
2022	16.49	16.4	15.75	14.94	16.3	16.82	17.89	16.37

Fuente:(NASA, 2023)

**Anexo 34:** Temperaturas máximas y mínimas – Zona Bajas – Av. Panamericana

AV. PANAMERICANA		
Años	Temp. Minima (°C)	Temp. Maxima (°C)
2002	3.88	17.43
2003	5.14	16.15

2004	4.79	16.47
2005	6.01	17.19
2006	2.94	17.94
2007	5.92	18.64
2008	3.89	15.73
2009	6.48	17.27
2010	5.9	18.78
2011	4.43	17.18
2012	5.04	16.32
2013	4.41	16.51
2014	5.04	17.36
2015	5.74	16.77
2016	5.4	16.98
2017	4.95	16.96
2018	3.08	16.67
2019	4.38	17.38
2020	5.24	17.23
2021	4.88	16.66
2022	3.94	16.37

Fuente:(NASA, 2023)

**Anexo 35:** Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°) – Guamote\_Cebadas – Zona Bajas

Años	Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°)							PROMEDIO
	1	2	3	4	5	6	7	
2002	17.48	17.24	17.4	17.56	17.12	17.02	16.29	17.16
2003	15.68	14.92	15.8	15.76	17.07	16.32	17.53	16.15
2004	17.65	15.53	15.83	17.19	15.14	15.46	16.41	16.17
2005	17.59	15.77	15.03	19	15.38	17.68	18.62	17.01
2006	18.04	18.55	18.01	18.13	17.19	15.87	17.07	17.55
2007	18.62	18.2	18.6	17.75	17.87	19.06	18.69	18.40
2008	15.77	16.32	16.17	15.88	15.4	14.37	16.11	15.72
2009	18.1	18.3	17.24	17.57	16.45	15.17	16.4	17.03
2010	19.24	19.05	18.08	18.7	18.3	17.29	16.33	18.14
2011	17.63	17.73	19.25	18.41	14.32	17.24	16.58	17.31
2012	16.36	16.05	15.95	15.92	16.73	15.38	16.02	16.06
2013	16.71	15.9	16.49	16.29	15.67	15.73	15.49	16.04
2014	16.63	16.95	17.14	16.14	16.87	16.61	18.86	17.03
2015	16.23	17.07	17.17	16.61	16.53	16.76	14.9	16.47
2016	16.27	16.7	16.93	15.73	16.52	17.33	18	16.78
2017	17.3	17.42	17.44	15.28	16.92	15.78	16.88	16.72
2018	17.23	14.48	16.98	16.63	17.01	15.23	16.02	16.23
2019	15.9	17.08	17.71	18.04	18.26	16.84	17.27	17.30
2020	18.02	17.5	16.74	17.31	16.62	16.98	16.56	17.10

2021	16.08	14.9	15.84	15.97	16.72	17.71	17.74	16.42
2022	16.14	15.98	15.12	14.8	16.12	16.7	17.64	16.07

Fuente:(NASA, 2023)

**Anexo 36:** Temperaturas máximas y mínimas – Zona Bajas – Guamote\_Cebadas

GUAMOTE_CEBADA		
Años	Temp. Minima (°C)	Temp. Maxima (°C)
2002	3.22	17.16
2003	3.57	16.15
2004	4.39	16.17
2005	5.3	17.01
2006	1.76	17.55
2007	5.67	18.40
2008	2.99	15.72
2009	5.83	17.03
2010	4.84	18.14
2011	3.4	17.31
2012	4.27	16.06
2013	3.65	16.04
2014	4.66	17.03
2015	5.12	16.47
2016	4.58	16.78
2017	3.8	16.72
2018	2.28	16.23
2019	3.45	17.30
2020	3.41	17.10
2021	3.92	16.42
2022	2.8	16.07

Fuente:(NASA, 2023)

**Anexo 37:** Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°) – Multitud\_Sibambe – Zona Bajas

Años	Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°)							PROMEDIO
	1	2	3	4	5	6	7	
2002	17.48	17.24	17.4	17.56	17.12	17.02	16.29	17.16
2003	15.68	14.92	15.8	15.76	17.07	16.32	17.53	16.15
2004	17.65	15.53	15.83	17.19	15.14	15.46	16.41	16.17
2005	17.59	15.77	15.03	19	15.38	17.68	18.62	17.01
2006	18.04	18.55	18.01	18.13	17.19	15.87	17.07	17.55
2007	18.62	18.2	18.6	17.75	17.87	19.06	18.69	18.40
2008	15.77	16.32	16.17	15.88	15.4	14.37	16.11	15.72

2009	18.1	18.3	17.24	17.57	16.45	15.17	16.4	17.03
2010	19.24	19.05	18.08	18.7	18.3	17.29	16.33	18.14
2011	17.63	17.73	19.25	18.41	14.32	17.24	16.58	17.31
2012	16.36	16.05	15.95	15.92	16.73	15.38	16.02	16.06
2013	16.71	15.9	16.49	16.29	15.67	15.73	15.49	16.04
2014	16.63	16.95	17.14	16.14	16.87	16.61	18.86	17.03
2015	16.23	17.07	17.17	16.61	16.53	16.76	14.9	16.47
2016	16.27	16.7	16.93	15.73	16.52	17.33	18	16.78
2017	17.3	17.42	17.44	15.28	16.92	15.78	16.88	16.72
2018	17.23	14.48	16.98	16.63	17.01	15.23	16.02	16.23
2019	15.9	17.08	17.71	18.04	18.26	16.84	17.27	17.30
2020	18.02	17.5	16.74	17.31	16.62	16.98	16.56	17.10
2021	16.08	14.9	15.84	15.97	16.72	17.71	17.74	16.42
2022	16.14	15.98	15.12	14.8	16.12	16.7	17.64	16.07

Fuente:(NASA, 2023)

**Anexo 38:** Temperaturas máximas y mínimas – Zona Bajas – Multitud\_Sibambe

MULTITUD_SIBAMBE		
Años	Temp. Minima (°C)	Temp. Maxima (°C)
2002	3.22	17.16
2003	3.57	16.15
2004	4.39	16.17
2005	5.3	17.01
2006	1.76	17.55
2007	5.67	18.40
2008	2.99	15.72
2009	5.83	17.03
2010	4.84	18.14
2011	3.4	17.31
2012	4.27	16.06
2013	3.65	16.04
2014	4.66	17.03
2015	5.12	16.47
2016	4.58	16.78
2017	3.8	16.72
2018	2.28	16.23
2019	3.45	17.30
2020	3.41	17.10
2021	3.92	16.42
2022	2.8	16.07

Fuente:(NASA, 2023)

**Anexo 39:** Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°) – Alausí\_Huigra – Zona Bajas

Años	Temperaturas de los 7 días más calientes del Mes (C°)							PROMEDIO
	1	2	3	4	5	6	7	
2002	17.4	17.51	17.16	17.9	17.44	17.62	17.01	17.43
2003	15.35	15.04	15.33	16.3	17.22	16.08	17.76	16.15
2004	17.69	16.24	16.38	17.32	15.58	15.78	16.27	16.47
2005	17.84	16.01	15.8	18.98	15.6	17.37	18.76	17.19
2006	17.69	18.47	17.98	17.99	18.23	17.82	17.38	17.94
2007	19.23	18.38	19.15	18.01	17.92	19.17	18.61	18.64
2008	15.86	16.41	16.32	15.58	15.16	14.53	16.22	15.73
2009	18.32	18.68	17.73	17.85	16.48	14.84	17.01	17.27
2010	19.43	19.61	18.73	19.17	18.87	18.07	17.56	18.78
2011	16.54	17.21	19.23	18.52	15.58	16.52	16.67	17.18
2012	15.85	16.35	16.42	16.48	17.19	15.65	16.33	16.32
2013	17.06	16.61	17.05	16.76	16.25	16.06	15.8	16.51
2014	17.34	17.64	17.09	16.51	17.03	16.87	19.01	17.36
2015	16.81	17.33	17.4	16.76	16.95	16.92	15.24	16.77
2016	16.32	16.51	16.9	16.2	17.12	17.63	18.19	16.98
2017	17.41	17.54	17.25	15.68	17.44	16.12	17.3	16.96
2018	17.73	15.99	17.29	16.66	17.42	15.58	16.05	16.67
2019	16.01	17.37	17.53	18.49	17.67	17.09	17.48	17.38
2020	18.14	17.31	17.15	17.55	16.62	17.23	16.58	17.23
2021	15.94	15.39	15.98	16.28	17.08	17.85	18.11	16.66
2022	16.49	16.4	15.75	14.94	16.3	16.82	17.89	16.37

Fuente:(NASA, 2023)

**Anexo 40:** Temperaturas máximas y mínimas – Zona Bajas – Alausí\_Huigra

ALAUŚÍ_HUIGRA		
Años	Temp. Minima (°C)	Temp. Maxima (°C)
2002	3.88	17.43
2003	5.14	16.15
2004	4.79	16.47
2005	6.01	17.19
2006	2.94	17.94
2007	5.92	18.64
2008	3.89	15.73
2009	6.48	17.27
2010	5.9	18.78
2011	4.43	17.18
2012	5.04	16.32

2013	4.41	16.51
2014	5.04	17.36
2015	5.74	16.77
2016	5.4	16.98
2017	4.95	16.96
2018	3.08	16.67
2019	4.38	17.38
2020	5.24	17.23
2021	4.88	16.66
2022	3.94	16.37

Fuente:(NASA, 2023)



**Anexos zonas bajas para la obtención de Temperaturas altas**

**Riobamba-Bucay (E487)**



**Multitud\_Sibambe**



**Alausí – Huigra (E47)**



**Av. Panamericana (E35)**



**Calpi-Gallo Rumi (E492)**



**Guamote-Cebadas (E46)**



**Riobamba-Penipe (E490)**



**Riobamba-Guano**



**Riobamba-Macas (E46)**



**Anexos zonas altas para la obtención de Temperaturas bajas**

<p><b>Riobamba-Bucay (E487)</b></p>	
<p><b>Calpi-Gallo Rumi (E492)</b></p>	

**Multitud-Sibambe**



**Ozogoche-Lago Totoras**



**Av. Panamericana (E35)**



**Riobamba-Macas (E46)**





**Calpi-Chimborazo**

